



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**NÍVEL MESTRADO**



**ELIANE DOS SANTOS DA SILVA**

**PEGADA HÍDRICA DA CULTURA DA PIMENTA MALAGUETA (*Capsicum frutescens.*) NA  
REGIÃO AGRESTE DO ESTADO DE SERGIPE**

**SÃO CRISTÓVÃO**

**2018**

**ELIANE DOS SANTOS DA SILVA**

**PEGADA HÍDRICA DA CULTURA DA PIMENTA MALAGUETA (*Capsicum frutescens.*) NA  
REGIÃO AGRESTE DO ESTADO DE SERGIPE**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de  
Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio  
Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa

**SÃO CRISTÓVÃO**

**2018**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DE LAGARTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S586p Silva, Eliane dos Santos da.  
Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) na região agreste do Estado de Sergipe / Eliane dos Santos da Silva ; orientador Inajá Francisco de Sousa. – São Cristóvão, 2018.  
82 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)  
– Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Recursos hídricos. 2. Pimenta - Cultivo. 3. Água - Uso. 4. Evapotranspiração. 5. . 6. . I. *Capsicum frutescens*. II. Sousa, Inajá Francisco de, orient. III. Título.

CDU 556.18:502

**ELIANE DOS SANTOS DA SILVA**

**PEGADA HÍDRICA DA CULTURA DA PIMENTA MALAGUETA (*CAPSICUM FLUTESCENS*) NA REGIÃO AGRESTE DO ESTADO DE SERGIPE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe.

**Aprovada em 28 de fevereiro de 2018.**

**BANCA EXAMINADORA**




---

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa (PRODEMA/UFS)  
Orientador



---

Profa. Dra. Helenice Leite Garcia (UFS)  
Examinador Externo-



---

Prof. Dr. Marcos Cabral de V. Barreto (UFS)  
Examinador Externo

**SÃO CRISTÓVÃO – SE  
FEVEREIRO – 2018**

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

---

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa (Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA

Universidade Federal de Sergipe – UFS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Dissertação e emprestar ou vender tais cópias.

---

Eliane dos Santos da Silva

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

---

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa (Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

*Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais Heleno Damião e Maria Aparecida que sempre estiveram junto comigo e que nunca mediram esforços para realizar os meus sonhos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente agradeço a meu pai Heleno Damião e a minha mãe Maria Aparecida pela base oferecida por ambos para a consecução desse estágio de minha vida.

Ao meu namorado Kelvin pelo apoio e companheirismo durante esses dois anos de curso.

Agradeço a cada um dos professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA da Universidade Federal de Sergipe, pelas contribuições diversas, mas preciosas à concretização deste trabalho.

A coordenação do curso, a professora Maria José Nascimento Soares, pelo acolhimento no PRODEMA.

Toda minha gratidão ao meu orientador Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Inajá Francisco de Sousa, que mesmo sem me conhecer acolheu e disse sim ao meu projeto de pesquisa. Agradecer infinitamente por ser orientada por uma pessoa admirável, inteligente e de coração sem igual. Muito obrigada pelo carinho, paciência e disponibilidade destes dois anos. Aprendi muito com o senhor.

Aos meus grandes amigos, que conheci no PRODEMA. Obrigado a todos pelos risos, pelas horas de estudo, pelos momentos de brincadeiras em especial a Fabricio, Jonielton, Juninho e Rose Emanuelle. Guardo vocês em meu coração!

Agradeço de forma especial aos amigos mestre Marília Barbosa e Murilo Farias que me auxiliaram na execução deste trabalho. Muito obrigada!

Agradeço a toda a equipe da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO) pelo fornecimento de dados vitais à dissertação.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram com esta pesquisa.



## RESUMO

Entre os diversos métodos de aproveitamento da água adotados pela humanidade, o que mais utiliza recursos hídricos é a agricultura através do procedimento da irrigação, permitindo os cultivos agrícolas em um espaço mais abrangente e sendo capaz de atender a demanda por alimentos tanto para consumo humano como consumo animal. Uma forma de medir a quantidade de água é através da aplicação do conceito de pegada hídrica como sendo a quantidade de água, direta e indiretamente, usada na produção de um produto e dividida em três componentes verde, azul e cinza. Sendo assim, O objetivo deste estudo foi determinar os valores da pegada hídrica dos componentes azul, verde e cinza para a produção da pimenta malagueta através do método tradicional utilizando o modelo CROPWAT durante os anos de 2012, 2013 e 2014. O trabalho desenvolveu-se na região Agreste do Estado de Sergipe, mais precisamente no Perímetro de Irrigação Piauí (PIPIA) pertencente à Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação (COHIDRO), localizado no município de Lagarto, em Sergipe. Os resultados obtidos evidenciaram para os anos de 2012, 2013 e 2014 uma PH verde de 14,09 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), 33,41( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ) e 25,73( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), respectivamente. Uma PH azul de 68,67 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), 136,15 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ) e 122,20 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), respectivamente e uma PH cinza de 0,57( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), 2,42 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ) e 2,18 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), respectivamente. Os resultados evidenciaram que os valores da PH verde e cinza diminuem à medida que há acréscimo na irrigação. Inversamente, os valores da PH azul aumentam à medida que há incremento na irrigação. A PH verde apresenta maior contribuição apenas durante a estação de inverno, uma vez que a precipitação pluviométrica da região Agreste do Estado de Sergipe, apresenta uma distribuição regular no espaço e no tempo, superando a evapotranspiração da cultura o que contribuiu para o menor uso da irrigação.

**Palavras-Chave:** Modelo CROPWAT. Pimenta Malagueta. Evapotranspiração. Região Agreste.

## ABSTRACT

Among the diverse methods of water harvesting used for humanidade, or which uses water resources and agriculture through the irrigation process, allowing agricultural crops to grow more and being able to meet demand for food for both human consumption and food. animal consumption A way to measure the quantity of water and through the application of the water punch method as a quantity of water, directly and indirectly, used in the production of a product divided into three components: green, blue and cinza. Sendo assim, O objective of this study is to determine the values of water glued two components blue, green and cinza for the production of chilli pepper through the traditional method using or CROPWAT model during the years of 2012, 2013 and 2014. O trabalho desenvolveu-se na região Agreste do Estado de Sergipe, more precisely not Perimeter of Irrigação Piauí (PIPIA) pertencente à Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos y Irrigação (COHIDRO), located not in the municipality of Lagarto, in Sergipe. The results obtained for the years of 2012, 2013 and 2014 show a green PH of 14,09 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ), 33,41 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) and 25.73 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ), respectively. A blue pH of 68.67 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ), 136.15 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) and 122.20 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ), respectively, and a PH cinza of 0.57 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ), 2.42 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) and 2.18 ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ), respectively. The results show that the values of green PH and cinza diminuem à as it has acréscimo na irrigação. Conversely, the values of the blue pH increase as the irrigation increases. A green PH apreceenta maior contribuição barely during a winter season, uma time that a precipitação pluviométrica da região Agreste do Estado de Sergipe, presents a regular distribution not espaço e no tempo, surpassing evapotranspiração da cultura or that contributed to or lesser use da irrigação.

**Keywords:** CROPWAT model. Chilli pepper. Evapotranspiration. Agreste Region.

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CNI	Conselho Nacional de Indústria
COHIDRO	Companhia de Desenvolvimento e de Recurso Hídricos e Irrigação de Sergipe
DHC	Demanda hídrica da cultura
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETm	Evapotranspiração máxima
ETo	Evapotranspiração de referência
FAO	Organização das Nações Unidas
GC1	Bacias Costeiras 1
GC2	Bacias Costeiras 2
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kc	Coefficiente de Cultura
ONU	Organização das Nações Unidas
P <sub>eff</sub>	Precipitação efetiva
PIPIA	Perímetro Irrigado Piauí
PH	Pegada Hídrica
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SRH	Secretaria de Estado de Recursos Hídricos
USA	Estados Unidos da América
USDA SCS	Método do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Distribuição da água doce superficial no mundo .....	07
Figura 02 – Disponibilidade de água nos Estados da região Nordeste do Brasil .....	09
Figura 03 – Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe .....	12
Figura 04 – Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável para o ano de 2030..	16
Figura 05 – Pegada hídrica per capita dos diversos países (m <sup>3</sup> / per capita/ ano) .....	20
Figura 06 – Pimenta Malagueta.....	29
Figura 07 – Localização do Perímetro Irrigado Piauí no Município de Lagarto/SE .....	34
Figura 08 – Plantio de pimenta em sementes .....	35
Figura 09 – Pimenteira em mudas .....	35
Figura 10 – Estação meteorológica no PIPIA em Lagarto/SE .....	37
Figura 11 – Valores de demanda hídrica verde e azul (m <sup>3</sup> /há) da cultura da pimenta 2012 ....	45
Figura 12 – Valores de demanda hídrica verde e azul (m <sup>3</sup> /há) da cultura da pimenta 2013 ....	46
Figura 13 – Valores de demanda hídrica verde e azul (m <sup>3</sup> /há) da cultura da pimenta 2014 ....	46
Figura 14 – Produtividade da cultura da pimenta malagueta (toneladas) durante os anos de 2012, 2013 e 2014 na região Agreste do Estado de Sergipe .....	47
Figura 15 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação de verão na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Janeiro a março de 2012 .....	48
Figura 16 – Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do outono na região Agreste do Estado de Sergipe no período de abril a junho de 2012.....	49
Figura 17 – Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do inverno na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Julho a setembro de 2012 .....	49
Figura 18 – Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação da primavera na região Agreste do Estado de Sergipe no período de outubro a dezembro de 2012 .....	50
Figura 19 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do verão na região Agreste do Estado de Sergipe no período de janeiro a março de 2013 .....	51
Figura 20 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do outono na região Agreste do Estado de Sergipe no período de abril a junho de 2013 .....	51
Figura 21 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do inverno na região Agreste do Estado de Sergipe no período de julho a setembro de 2013 .....	52
Figura 22 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação da primavera na região Agreste do Estado de Sergipe no período de outubro a dezembro de 2013 .....	53

Figura 23 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do verão na região Agreste do Estado de Sergipe no período de janeiro a março de 2014 .....	53
Figura 24 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do outono na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Abril a junho de 2014.....	53
Figura 25 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do inverno na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Julho a Setembro de 2014 .....	54
Figura 26 – Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação da primavera na região Agreste do Estado de Sergipe no período de outubro a dezembro de 2014 .....	54
Figura 27 – Pegada hídrica total da cultura da pimenta malagueta em ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ) na região Agreste do Estado de Sergipe para os anos (a) 2012; (b) 2013 e (c) 2014 .....	56

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Médias mensais das variáveis meteorológicas para o ano de 2012 na região Agreste do Estado de Sergipe.....	43
Tabela 02 – Médias mensais das variáveis meteorológicas para o ano de 2013 na região Agreste do Estado de Sergipe.....	44
Tabela 03 – Médias mensais das variáveis meteorológicas para o ano de 2014 na região Agreste do Estado de Sergipe.....	44
Tabela 04 – Valores utilizados para o cálculo da pegada hídrica cinza (PH cinza, m <sup>3</sup> . ton <sup>-1</sup> ) da cultura da pimenta no Perímetro irrigado Piauí.....	47

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 – Tipos de Pegada Hídrica.....	19
--	----

## SUMÁRIO

### RESUMO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>02</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>06</b>
<b>2.1</b>	<b>IMPORTÂNCIA E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>06</b>
2.1.1	Água sobre uma perspectiva sistêmica.....	06
2.1.2	Gestão dos recursos hídricos no Brasil.....	08
2.1.3	Gestão dos recursos hídricos no Estado de Sergipe .....	11
<b>2.2</b>	<b>PEGADA HÍDRICA .....</b>	<b>13</b>
2.2.1	Conceito de Pegada hídrica.....	13
2.2.2	Importância da Pegada hídrica .....	15
2.2.3	Tipos de pegada hídrica .....	17
2.2.3.1	Pegada hídrica azul.....	17
2.2.3.2	Pegada hídrica verde.....	18
2.2.3.3	Pegada hídrica cinza.....	18
2.2.4	Tipos e contabilidade mundial e nacional da Pegada Hídrica .....	19
2.2.5	Pegada Hidrica como um novo indicador de sustentabilidade .....	21
<b>2.3</b>	<b>EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E O COEFICIENTE DE CULTURA .....</b>	<b>23</b>
2.3.1	Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) .....	23
2.3.2	Evapotranspiração efetiva (Pe <sub>ff</sub> ) .....	25
2.3.3	Evapotranspiração de cultura.....	25
2.3.4	Coeficiente da cultura.....	26
<b>2.4</b>	<b>CULTIVO DA CULTURA DA PIMENTA MALAGUETA .....</b>	<b>27</b>
2.4.1	Comercialização .....	29
<b>2.5</b>	<b>CROPWAT 8.0.....</b>	<b>30</b>

<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>32</b>
3.1	Caracterização e localização da área de estudo .....	33
3.2	Área de estudo e tratos culturais.....	32
3.3	Dados climáticos .....	36
3.4	Métodos .....	37
3.4.1	Cálculo de evaporação da cultura .....	38
3.4.2	Coeficiente do cultivo.....	38
3.4.3	Determinação da evaporação verde e azul .....	38
3.4.4	Cálculo da necessidade hídrica dos componentes verde e azul.....	39
3.4.5	Componentes da Pegada Hídrica Azul da cultura do pimenta .....	39
3.4.6	Componentes da Pegada Hídrica Cinza da cultura do pimenta.....	40
3.4.7	Pegada Hídrica total do processo da cultura da pimenta .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>43</b>
4.1	Médias mensais das variáveis meteorológicas .....	43
4.2	Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta .....	45
4.3	Comparação das pegadas hídricas totais para os anos de 2012, 2013 e 2014.....	55
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>



## INTRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo contemporâneo perpassa por diversas transformações ambientais, tornando-se um problema gradativamente preocupante em nível mundial. Nos últimos anos estas transformações estão ganhando uma atenção relevante devido aos transtornos ocasionados e as suas consequências mundiais. Dentre estas transformações, o consumo intenso da água por parte do processo evolutivo decorrente da globalização, tem afetado de forma significativa os recursos hídricos existentes no mundo. Sendo assim, a tentativa de avaliar a ausência de equilíbrio ambiental entre a humanidade e os recursos naturais leva ao envolvimento de indicadores de sustentabilidade como ferramenta importante na avaliação do uso correto desses recursos (ERCIN; ALDAYA; HOEKSTRA et al., 2011). Os recursos hídricos têm importância fundamental no desenvolvimento de diversas atividades econômicas.

No ano de 2002 surgiu o conceito de Pegada Hídrica (PH) introduzido na reunião de peritos sobre o comércio internacional de água virtual, em Delf na Holanda. A água virtual tem sido uma solução parcial para os problemas da escassez de água, haja vista que regiões com baixa disponibilidade hídrica importam água contida nos produtos agrícolas consumidos pela população (MARACAJÁ; SILVA; DANTAS NETO, 2013).

Para Hoekstra e Chapagain (2007, 2008), o uso da água doce está totalmente relacionado aos problemas de escassez e poluição, ocorrendo isso principalmente pelo grande uso de pesticidas na agricultura e pelo lançamento de poluentes industriais no ar e na água. Constatase ainda que os consumidores finais, revendedores, comerciantes e todos os tipos de empresas que operam ao longo da cadeia produtiva de bens de consumo continuam fora do alcance das políticas governamentais destinadas a atenuar a escassez de água e a poluição. O uso da água no mundo está ligado principalmente ao consumo final dos consumidores (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008).

A maioria dos usos de água ocorre na produção agrícola destacando também um número significativo de volume de água consumida e poluída nos setores industriais e domésticos (SILVA et al., 2013). É muito interessante destrinchar o perfil de cada região quanto ao consumo de água e por este motivo, a PH é separada em três tipos: a azul, a água que é retirada de mananciais superficiais e subterrâneos que podem ser utilizadas para irrigação; a verde, onde representa a água sob a forma líquida que entra nos mananciais; e a cinza, que é a quantidade de água que é comprometida para diluir a poluição.

O surgimento do conceito da PH abriu um potencial vasto de possibilidades de investigação acerca da avaliação sobre a quantidade de água consumida na produção mirando detectar o nível de sustentabilidade hídrica, ou seja, consumindo o necessário para não comprometer a subsistência do ecossistema.

Nessa linha a redução da PH é indispensável para garantir a sustentabilidade do recurso hídrico. Isso poderá ser alcançado promovendo-se o aumento da eficiência na utilização de água no setor agrícola, e sugere-se no setor agropecuário: aproveitamento da água da chuva e melhorias nos sistemas de irrigação para o cultivo de grãos; emprego da água da chuva para a limpeza das instalações; manutenção constante na instalação hidráulica que propicia a dessedentação. Igualmente importante é sensibilizar os consumidores, tendo em vista que a maior parte das pessoas não tem conhecimento da água que está contida nos produtos que consome e como poderia reduzir essa porção.

A retirada de água doce global aumentou quase sete vezes no século passado e esse valor deve crescer cada dia mais devido ao aumento populacional, bem como pelas diferentes mudanças de hábitos alimentares e de consumo. Desse modo, o volume de água de superfícies líquidas (rios, lagos, etc.) em determinado período não são totalmente disponíveis em face da evaporação, principalmente em regiões com alta demanda atmosférica, tal como em áreas áridas e semiáridas (SILVA et al., 2006). Além disso, o aumento da demanda da água doce para o consumo humano e para a irrigação é outro problema que o mundo vem enfrentando atualmente (PERRY, 2007).

Nesse sentido esta dissertação teve como área de estudo o Perímetro Irrigado Piauí (PIPIA), localizado no município de Lagarto/SE, região Agreste do Estado de Sergipe. Nele, encontram-se culturas de tubérculos, hortaliças e grãos, com destaque para a cultura da pimenta malagueta que é comercializada para empresa com valor comercial significativo.

O cultivo da pimenta malagueta é muito importante no município de Lagarto por conta do aproveitamento econômico resultante do comércio de sua produção para atender a demanda interna sergipana.

Diante do exposto, este trabalho dissertativo teve como objetivo geral determinar as PH: verde, azul e cinza da cultura da pimenta malagueta na região Agreste do estado de Sergipe.

A fim de atender o objetivo geral, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

- Comparar a demanda hídrica azul, verde e cinza da cultura da pimenta malagueta;

- Relacionar os valores dos componentes azul, verde e cinza da PH da cultura da pimenta malagueta com os índices médios de produtividade dos anos de 2012, 2013 e 2014 no PIPIA.

De maneira específica, a presente dissertação encontra-se estruturada em quatro capítulos, descritos sucintamente a seguir:

No Capítulo I apresenta a Introdução do projeto de estudo.

O Capítulo II apresenta uma revisão bibliográfica através da concepção de diversos autores sobre o tema proposto.

No capítulo III, fez-se abordagem dos procedimentos metodológicos utilizados norteadores da pesquisa, bem como as técnicas utilizadas e a elaboração dos gráficos.

No capítulo IV, são apresentados e discutidos os resultados alcançados da pesquisa com a apresentação de gráficos, tabelas e por último foram feitas as considerações finais.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 IMPORTÂNCIA E GESTÃO DOS RECURSOS HIDRICOS

#### 2.1.1 Água sobre uma perspectiva sistêmica

A água é um dos recursos mais valioso existente no planeta, sendo de modo geral, um elemento essencial na manutenção da vida. Desde os primórdios da civilização, a água tem sido um dos principais componentes da terra e constitui-se em um elemento indispensável para o equilíbrio e manutenção dos ecossistemas terrestres.

Diante disso, a água é mais que um recurso vital. Ela exerce uma forte influência em todas as formas de vida que se apresentam na natureza. De acordo com Petrella (2002) todos os habitantes da terra sejam eles animais, humanos ou vegetais, necessitam de água para sobreviver e para continuarem existindo, não é uma questão de escolha, todos precisam dela. A água por não ser substituída por qualquer outro composto faz dela um bem básico, comum e indispensável a qualquer ser humano.

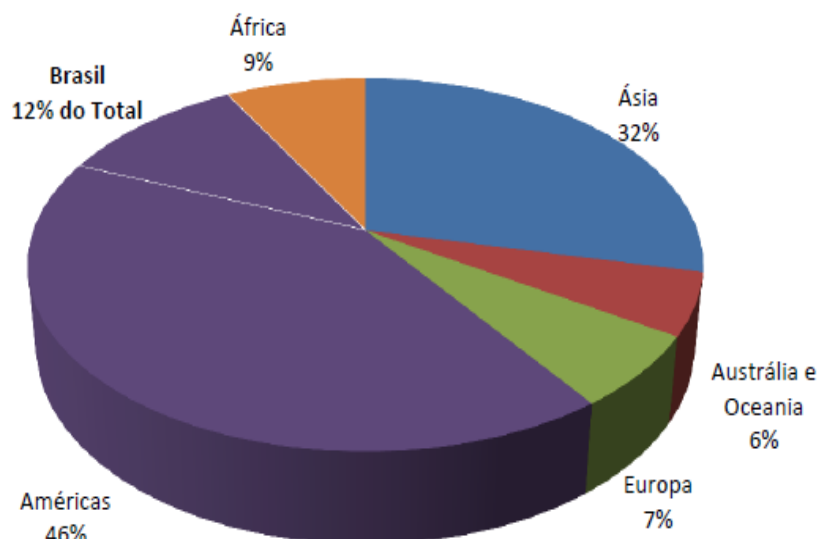
O planeta Terra é abundante em água. No entanto, 97,5% dos recursos hídricos encontram-se nos mares e oceanos. Os 2,5% restantes formam as águas doces, das quais 68,9% localizam-se nas calotas polares e geleiras, 29,9% formam as águas subterrâneas doces, apenas 0,3 encontram-se em rios e lagos e 0,9% em outros reservatórios (solos gelados, pântanos, água na biomassa, na atmosfera) (TUNDISI, 2005). Rebouças (2006) salienta que:

A classificação mundial das águas, feita com base nas suas características naturais, designa como “água doce” aquela que apresenta teor de sólidos totais dissolvidos (STD) inferior a mil mg/L. As águas com STD entre mil e 10 mil mg/L são classificadas como “salobras” e aquelas com mais de 10 mil mg/L são consideradas “salgadas” (REBOUÇAS, 2006, p.1).

Rebouças et.al. (2006) acrescentam ainda que os quatros países mais ricos em água doce no mundo, em termos de descarga média dos rios (em m<sup>3</sup>/s) são: Brasil (197,500), Rússia (128,857), USA (119,365) e Canadá (104,444). Isto significa que o Brasil possui 12% do total mundial de água doce utilizável, correspondendo a 53% da água doce da América do

Sul, como pode ser observado na Figura 01 sendo considerado o país mais rico do mundo em recursos hídricos, distribuídos em uma extensa rede hidrográfica.

Figura 01. Distribuição da água doce superficial no mundo



Fonte: Adaptado de ANA (2007)

Existem também lugares no Brasil em que a disponibilidade hídrica não é favorável, representados pelas regiões semiáridas do Nordeste (TEIXEIRA et al., 2009, p. 454). Diante desse contexto,

O Brasil apresenta em todos os espaços do seu território as condições necessárias ao desenvolvimento da vida, já assinaladas por Aristóteles, no século IV aC – a presença simultânea de terra, ar, água, e calor. “Terra e ar existem em todos os lugares e com qualidade propícia à vida em geral. Restam água e calor. Se faltam um ou outro, a vida desaparece” Água e calor não faltam no Brasil e, relativamente, água na região Nordeste (REBOUÇAS, 1997, p.128).

O Nordeste brasileiro, dentro desse contexto, é retratado como uma região pobre, por não possuir um elevado saldo de descarga dos rios, face às condições climáticas dominantes que provocam a existência de rios temporários com regime incerto. Dentre os rios da região, o Parnaíba e o São Francisco destacam-se pelo seu volume de água e pela sua larga extensão, ambos utilizados para a produção de energia elétrica. O Nordeste também possui rios de menor expressão e permanentes, que podem ser encontrados na Bahia e no Maranhão, enquanto rios de regime temporários são encontrados na porção nordestina que se estende do Ceará até a porção setentrional da Bahia (ANA, 2005).

Nesse sentido, cabe ressaltar que o Brasil é privilegiado por possuir em seu território grande quantidade de rios e uma forte presença de chuvas. O Brasil apresenta uma situação confortável e satisfatória em termos globais de recursos hídricos quando comparada aos valores dos demais países informados pela Organização das Nações Unidas (ONU). Entretanto, apesar desse aparente conforto, existe uma distribuição espacial desigual dos recursos hídricos no território brasileiro. Cerca de 70% de sua disponibilidade hídrica está concentrada na Região Amazônica, na qual se encontra o menor contingente populacional, onde reside menos de 5% da população, colocando boa parte do território brasileiro em situação de escassez (SILVA et al., 2015.).

Diante deste quadro complexo, a gestão dos recursos hídricos torna-se cada vez mais importante para que os desafios relacionados à água possam ser superados. Uma boa gestão necessita, portanto de ferramentas capazes de auxiliar na conciliação entre o crescimento constante da demanda por este recurso versus a oferta de água capaz de ser fornecida pela natureza. Conforme dito pelas Nações Unidas na Declaração do Milênio, em 2000 para cessar com a exploração insustentável dos recursos hídricos é preciso desenvolver uma gestão estratégica da água em nível regional, nacional e local para assim promover acesso adequado e de qualidade a este recurso (PNUD, 2000).

### 2.1.2 Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil

A gestão dos recursos hídricos pode determinar quantidades e qualidade dos usos, e contribuir na distribuição da oferta de água, de forma a estabelecer a segurança hídrica aos usuários dos recursos hídricos. Assim, Hoekstra e Hung (2005) propõem uma visão holística dos recursos hídricos através da consideração das esferas econômica, política e social.

A segurança hídrica deve ser garantida para a população e condições de produção industrial e agrícola para os outros setores da sociedade. Neste sentido, a política de gestão das águas possui configurações diferentes, em função das diversidades com relação às características físicas, políticas, econômicas e culturais; disponibilidade, necessidade e usos de cada região LEAL (1998).

No Brasil, segundo a Constituição Federal de 1988, as águas são divididas em dois domínios – federal e estadual – e sua administração envolve órgãos de diferentes esferas da

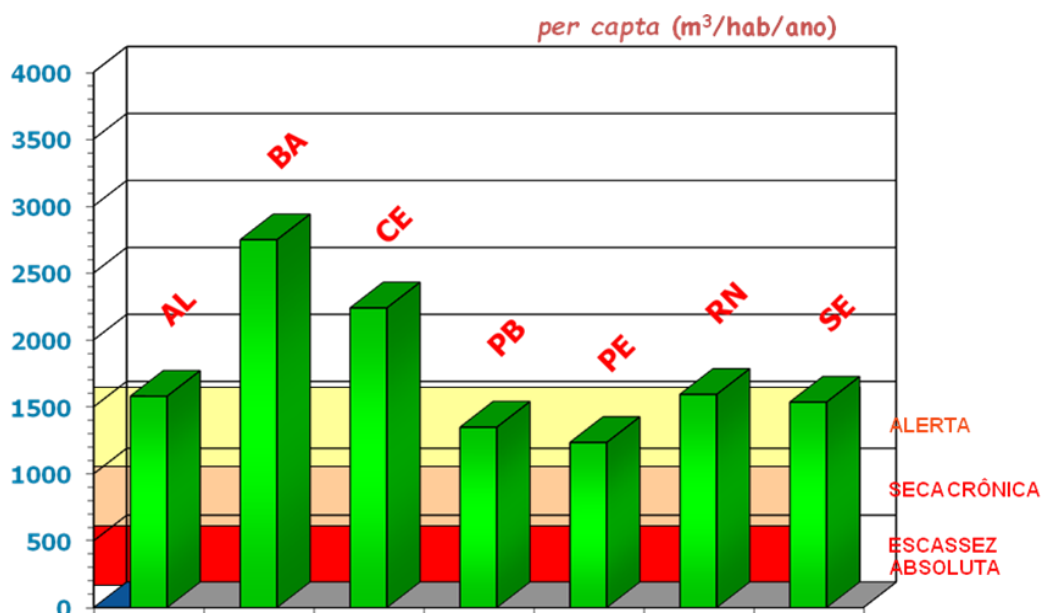


administração pública e organização pública e privada (MARTINS, PAULINO e FILHO, 2003). Martins e Felicidade (2006) citam que a Carta Magna do Brasil em vigor estabelece o domínio público e prevê a criação de mecanismos legais e modalidades de cobrança para o uso dos recursos hídricos.

Em termos de recursos hídricos, deve-se ter em conta que a agricultura é a atividade que consome mais água, entre 70-80 % da demanda total da sociedade moderna (REBOUÇAS, 2006). Esse consumo de água está associado com o sistema de irrigação, pois este processo é o que constitui o principal usuário de recursos hídricos (PRUSKI e PRUSKI, 2011). Nesse mesmo raciocínio, Dias (2004) aborda que os seus efeitos secundários da irrigação incluem depleção dos rios e corpos d'água.

O Brasil apresenta em seu território cerca de 12% da disponibilidade hídrica do planeta, sendo 70% do total concentrado na Região Amazônica. Em outras regiões do país, como a região semiárida do Nordeste brasileiro a disponibilidade de água é baixa e irregular dificultando seu desenvolvimento, conforme a Figura 02.

Figura 02. Disponibilidade de água nos Estados da região Nordeste do Brasil



Fonte: CPRM

A fim de gerenciar de maneira adequada essa grande quantidade de água e sua distribuição, foi estabelecida, em 1997 a “Lei das Águas” a Lei 9.433/97 que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos

Recursos Hídricos (SNGRH), trazendo à tona um novo planejamento e uma nova política de recursos hídrico, responsável por organizar o sistema de gestão (BRASIL, 1997).

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é reconhecida como um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. A política ainda prevê que a gestão deve ser efetuada sem dissociação entre os aspectos da qualidade e quantidade proporcionando os usos múltiplos da água, considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial e exercendo administração descentralizada.

Os instrumentos estabelecidos pela Lei 9.433/97 são:

- I- Plano de recursos hídricos;
- II- Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- /III- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.
- IV- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- V- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- VI- Compensação a municípios;

Porém, mesmo com todos estes instrumentos e um investimento superando os R\$300 milhões anuais, a gestão de recursos hídricos no território brasileiro ainda enfrenta diversos obstáculos operacionais. A Confederação Nacional da Indústria apontou em 2013 alguns desafios para a implementação da gestão utilizando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, como a ausência de regulamentação única nacional para definição de critérios para cobrança do uso da água, necessidade de melhorar a aplicação dos recursos arrecadados, urgência em qualificar os planos de Recursos Hídricos, entre outros (CNI, 2013).

Além disso, o Brasil vem enfrentando algumas situações preocupantes na gestão de suas águas. Em 2015 foi observada a pior seca jamais registrada na Bacia do Rio São Francisco. A região Sudeste também enfrentou graves problemas com seus reservatórios de água, com a necessidade de utilizar suas reservas técnicas para promover o abastecimento de São Paulo. Sendo assim, por estes e outros cenários é possível notar que a Política Nacional de Recursos Hídricos ainda deve ser aprimorada para que seja alcançada uma gestão de excelência especialmente em um país rico em água como o Brasil.

### 2.1.3 Gestão dos Recursos Hídricos em Sergipe

A gestão dos Recursos Hídricos e os desdobramentos decorrentes da abordagem integrada da gestão da água é um tema que merece grande importância no país, especialmente no Nordeste do Brasil pelas limitações de ordem climática a que está sujeita a região. Dimensões até pouco tempo consideradas irrelevantes adquiriram magnitude e expressão no contexto do gerenciamento integrado após a promulgação da Constituição de 1988 (XAVIER e BEZERRA, 2005).

O Estado de Sergipe, constituído por 75 municípios em 22.050,3 km<sup>2</sup> de área, considera para efeito de gestão a existência de oito sistemas de rios que drenam o estado de Sergipe: São Francisco, Japaratuba, Sergipe, Vaza Barris, Piauí, Real, Grupo de Bacias Costeiras 1 (GC1) e Grupo de Bacias Costeiras 2 (GC2). (SERGIPE, 2011). Destes, o São Francisco e o Vaza Barris integram o conjunto de bens pertencentes à União, nos termos do artigo 20, III da Constituição Federal, por banharem mais de um estado da Federação, enquanto os demais constituem bacias hidrográficas estaduais (LIMA, 2005). Destacam-se como rios deficitários Rio Arauá e o Rio Piauí (Bacia do Piauí); Rio Jabiberi (Bacia do Rio Real); Rio Siriri e o Rio Japaratuba (Bacia do Rio Japaratuba); Rio Jacarecica (Bacia do Rio Sergipe) e o Rio Trairas (Bacia do Rio Vaza Barris) (SERGIPE, 2011).

Nessa linha, França e Cruz (2007) apontam que:

O Estado de Sergipe, com exceção da bacia do rio São Francisco, comporta pequenas bacias fluviais, incluídas nas chamadas bacias secundárias do Atlântico Leste, que são as dos rios Japaratuba, Sergipe, vaza-Barris, Piauí e Real. [...] dependendo da forma com que as águas dos rios se escoam, podem ser perenes, isto é, correm o ano inteiro, intermitentes ou temporários, cujos leitos secam durante um período do ano, e efêmeros, que existem somente quando ocorrem fortes chuvas (torrentes), a depender do tipo de clima e da natureza das rochas da região por onde passa o curso d'água ((FRANÇA E CRUZ, 2007, p. 84).

Figura 03. Bacias Hidrográficas do Estado de Sergipe



Fonte: Mapa Digital de Recursos Hídricos de Sergipe (2004)

Estas bacias apresentam realidades distintas quanto aos recursos hídricos. Todas as bacias hidrográficas do Estado apresentam zonas com clima do semiárido, do agreste (área de transição) e do litoral. Essa diversidade climática acarreta diferentes condições de armazenamento de seus recursos hídricos

O Estado de Sergipe dispõe da lei sobre gerenciamento de recursos hídricos com fundamentos à lei nacional (TUCCI, HESPANHOL e NETO, 2003). O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos propõe a coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados como os recursos hídricos; implementar a Política de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos (GUIMARÃES, 2010).

Com acentuados problemas de acesso à água se faz necessário uma gestão cuidadosa no Estado. Para Lima (2005), é necessário à conservação das suas águas, e medidas para uma implementação rápida de um modelo de gestão bem detalhada, pois caso contrário, Sergipe sofrerá no futuro consequências dessa omissão.

Guimarães (2010) aborda que a política ambiental em Sergipe ainda deverá percorrer um longo caminho até que possa, efetivamente, atuar de acordo com o que recomenda a legislação voltada para o meio ambiente. Nesse sentido faz-se necessário também, que as organizações da sociedade civil representem intervenções ativas perante sua realidade em que vivem, para que aumentem a capacidade desta sociedade exercer sua cidadania e desenvolver de forma sustentável (FIGUEREDO, 2016).

## **2.2 PEGADA HÍDRICA**

### **2.2.1 Conceito de Pegada Hídrica**

A Pegada Hídrica (PH) é caracterizada como uma ferramenta no âmbito da gestão dos recursos hídricos que permite que tanto as iniciativas públicas como as iniciativas privadas, assim como a sociedade, tenham a percepção da quantidade de água necessária na concepção de produtos ao longo de um sistema produtivo. Desta forma, é possível que todas as partes envolvidas possam quantificar a sua apropriação de recursos de água doce e contribuir positivamente através de medidas de redução e mecanismos de compensação nos conflitos de uso de água e degradação ambiental nas bacias hidrográficas em todo o mundo (SEIXAS, 2011).

O conceito foi introduzido no campo dos estudos sobre a água em 2002, pelo neerlandês Arjen Y. Hoekstra considerando que a PH é um indicador de uso de água que busca não somente uso direto por parte de um consumidor ou produtor, mas também o seu uso indireto. Isto é, foge do conceito tradicional e restrito de apropriação do recurso, em que a PH é medido apenas volume captado de água. (HOEKSTRA et al., 2011).

Empinotti e Jacobi (2012) enfatizam que a PH é um indicador multidimensional representando os volumes de consumo de água em termos de espaço, dividindo os recursos hídricos de acordo com as distintas fontes de águas utilizadas, como por exemplo, a água presente no solo (PH verde) e águas de irrigação (PH azul). A PH também pode ser um subsídio para medir a contaminação dos recursos de água doce resultante da poluição (PH cinza).

De forma resumida, a PH é então, dividida em três componentes diferentes: água azul, água verde e água cinza, sendo que todos são expressos em unidade volumétrica em água. Para Hoekstra (2011, p. 2) estes são definidos da seguinte maneira:

A pegada hídrica azul de um produto refere-se ao consumo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo de sua cadeia produtiva. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água verde (água de chuva, desde que não escoe). A pegada hídrica cinza refere-se à poluição e é definida como volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes.

Segundo Chapagain e Tickner (2012), o conceito de PH azul é representada por um indicador do uso consuntivo, águas superficiais e subterrâneas (água dos rios, lagos e aquíferos) O termo “uso consuntivo das águas” diz respeito a qualquer um destes casos:

- a) Quando há evaporação das águas;
- b) Quando a água é incorporada ao produto;
- c) Quando a água não retorna à bacia hidrográfica de origem, mais sim escoar para outra bacia ou para o oceano;
- d) Quando a água não retorna no mesmo período, por exemplo, quando é retirada em um período de seca e retorna em um período de chuvas.

Desta forma, Chapagain e Tickner (2012) destacam ainda que, a PH azul mensura a quantidade de água disponível em certo período que é consumida, ou seja, que não retorna imediatamente para seu ponto de captação. Vale ressaltar apenas que uso consuntivo não significa que o recurso hídrico desaparece, uma vez que, este permanece no ciclo hidrológico.

De acordo com Souza e Vieira (2012), a PH verde é um indicador do uso da água por parte do homem. Os autores referem-se água verde à precipitação no continente que não escoa ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação.

A PH verde é particularmente relevante para agricultura e produção florestal (produtos à base de plantas ou madeira), e se refere ao total da água da chuva evapotranspirada, somada à parcela de água incorporada na cultura ou madeira colhida (MEKONEM E HOEKSTRA, 2011).

A distinção entre a PH azul e PH verde é muito importante em razão dos impactos hidrológicos, ambientais e sociais, tal como os custos e impactos do uso da água superficial e do subsolo. Esta definição difere dos custos e impactos do uso de água de chuva (HOEKSTRA et al., 2011).

Por fim, a PH cinza é definida por Hoekstra et al (2011) como “o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes baseado nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes”. O conceito de PH cinza parte da premissa segundo Empinotti e Jacobi (2012) que o grau de poluição da água pode ser expresso em termos de volume de água necessário para diluir os poluentes até que os efeitos destes sejam inócuos.

A PH cinza indica o grau de poluição de água doce associada ao processo de produção. Hoekstra et al (2011) define esse componente da PH como sendo o volume de água doce que é requerido para assimilar a carga de poluentes baseando-se nas concentrações naturais e nos padrões de qualidade de água existentes. Esta é calculada dividindo-se a carga de poluentes pela diferença entre a máxima concentração aceitável para aquele poluente específico e sua concentração natural naquele corpo de água que assimila o poluente (SILVA et al., 2013).

Diante destas formas de conceitualização, a PH como um indicador de uso de água se diferencia da tradicional medição para Hoekstra et al (2011) em três aspectos:

- a) Não inclui o uso da água azul, quando essa água é devolvida para o local de onde veio;
- b) Não está restrito ao uso da água, mas inclui também a água verde e cinza;
- c) Não é restrito ao uso direto da água, mas inclui também seu uso indireto.

### 2.2.2 Importância da Pegada Hídrica

A Água doce é um recurso escasso e sua disponibilidade ao longo do ano é limitada e a demanda é crescente. Isso se deve, principalmente, ao aumento populacional, ao crescimento da poluição em rios e lagos, às alterações antrópicas no ciclo hidrológico, e às mudanças climáticas. Sendo assim, a pegada hídrica já excede níveis sustentáveis em diversos lugares e é distribuída desigualmente entre as pessoas (HOEKSTRA et al., 2011).

Em algumas regiões do mundo a escassez de água já atingiu níveis críticos. Em meio a esse cenário de escassez, encontra-se a necessidade de suprir as diversas demandas possíveis de um corpo hídrico. Preocupados com este cenário, as lideranças mundiais têm despertado o interesse para que uma possível escassez hídrica poderia causar a nível global. Essa preocupação já é visível na elaboração dos Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável no ano de 2030 elaborado pela ONU (2015), conforme a Figura 04. Entre os dezessete objetivos, dois estão literalmente ligados à água. “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” e “Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável”.

Dessa forma, se comparados com os Objetivos elaborados pela ONU (PNUD, 2000) no ano de 2000 para serem alcançados até 2015, dentre os quais nenhum está diretamente ligado à conservação das águas, percebe-se esse crescimento de conscientização já na elaboração desses novos objetivos visando assim, uma gestão sustentável da água.

Figura 04. Objetivos do Milênio para o Desenvolvimento Sustentável para o ano de 2030



Fonte: ONU ( 2015)

Portanto, a fim de ampliar a conscientização e melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos, a avaliação da PH pode ser uma importante ferramenta a ser aplicada. Sendo assim, Mekkonen et al. (2015) destacam que a PH é um indicador multidimensional, pois mostra o volume de água explicitado pelos diferentes tipos de utilização (PH azul, verde e cinza), além da sua localização espaço-temporal. Logo, a PH evidência a apropriação dos recursos hídricos mundiais limitados e, conseqüentemente, oferece uma base para serem discutidos problemas relacionados ao uso sustentável, igualitário e eficiente da água.



A PH funciona ainda como uma interessante ferramenta de gestão para auxiliar os governos em tomadas de decisão. Muitos países buscam opções para reduzir a demanda de água assim como aumentar a oferta deste recurso. Desta forma, utilizando a PH em suas estatísticas nacionais de água uma nação é capaz de obter uma base de informações que pode auxiliar a elaboração de planos nacionais e regionais de recursos hídricos coerentes com as políticas, reduzindo assim os conflitos pelos usos múltiplos da água.

### 2.2.3 Tipos de Pegada Hídrica

#### 2.2.3.1 Pegada Hídrica Azul

A PH azul é calculada tendo em conta a soma de três fatores, que são a água azul evaporada, mais a água azul incorporada e a perda no fluxo de retorno. Ao avaliar a PH azul de um processo, pode-se distinguir as diferentes fontes de água. A divisão mais importante é entre água superficial, água subterrânea renovável e água subterrânea fóssil. Porém, na prática, esta distinção não é feita com frequência dada à insuficiência de dados disponíveis (HOEKSTRA et al., 2011).

O uso consuntivo d'água não significa que a água desaparece, pois a água permanecerá dentro do ciclo e retornará sempre para algum lugar. A água é um recurso renovável, mas isso não significa que sua disponibilidade seja ilimitada. Em um determinado período, a quantidade de água que repõe as reservas subterrâneas e flui através de um rio é sempre limitada a certo volume. As águas dos rios e aquíferos podem ser usadas para irrigação, usos industriais ou domésticos, mas durante um determinado período de tempo, não se pode consumir mais água do que o disponível.

A PH azul mede a quantidade de água disponível que é consumida em um determinado período (em outras palavras, a que não retorna imediatamente para a mesma bacia). Dessa forma, esta fornece uma medida da quantidade de água azul consumida pelo homem. O restante, ou seja, os fluxos de água subterrânea e superficial não utilizados para as atividades humanas permitem a manutenção da vida nos ecossistemas que dependem destes fluxos (HOEKSTRA et al., 2011)

### 2.2.3.2 Pegada Hídrica Verde

A PH verde é um indicador do uso da água verde por parte do homem. A água verde refere-se à precipitação no continente que não escoar ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação. Eventualmente, essa parte da precipitação evapora ou é transpirada pelas plantas. A água verde pode ser produtiva para o desenvolvimento das culturas (mas nem toda água verde pode ser absorvida pelas culturas, pois sempre haverá evaporação de água do solo e porque nem todas as áreas e nem todos os períodos do ano são adequados para o crescimento de culturas) (HOEKSTRA et al., 2011).

A PH verde é o volume da água da chuva consumido durante o processo de produção. Isto é particularmente relevante para os produtos agrícolas e florestais (grãos, madeira etc.), correspondendo ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (dos campos e plantações) mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos (HOEKSTRA et al., 2011).

### 2.2.3.3 Pegada Hídrica Cinza

A PH cinza indica o grau de poluição de água doce associada ao processo de produção. Hoekstra et al. (2011) definem essa componente da PH como sendo o volume de água doce que é requerida para assimilar a carga de poluentes, baseando-se nas concentrações naturais e padrões de qualidade de água existentes. Ela é calculada dividindo-se a carga de poluentes pela diferença entre a máxima concentração aceitável para aquele poluente específico e sua concentração natural naquele corpo de água que assimila o poluente (MARACAJÁ et al., 2013).

A PH cinza é um indicador do grau de poluição de água doce, que pode ser associado com o passo do processo. É definida como o volume de água doce, que é necessária para assimilar a carga de poluentes com base em padrões de qualidade da água ambientais existentes. Calcula-se que o volume de água que é necessária para diluir os poluentes, para um ponto tal que a qualidade da água do ambiente da água permanece acima do acordado nos padrões de qualidade. O componente cinzento da utilização da água, expressa como um

requisito de água de diluição, foi reconhecido anteriormente, por exemplo, por Postel et al. (1996) e Chapagain et al. (2006).. O termo "PH cinza " foi pela primeira vez introduzido por Hoekstra e Chapagain (2008). Alguns estudos recentes que incluir a quantificação de pegadas de água cinzenta incluem Van Oel et al. (2009), Dabrowski et al. (2009), Aldaya e Hoekstra (2009), Bulsink et al. (2009) e Gerbens-Leenes e Hoekstra (2009), (HOEKSTRA; CHAPAGAIN; ALADAYA; MEKONNEN, 2009).

#### 2.2.4. Tipos e contabilidade mundial e nacional da Pegada Hídrica

A aplicação desse conceito pode ser feita para diversas finalidades: uma etapa do processo, um produto, um consumidor, um grupo de consumidores, uma área delimitada geograficamente, um negócio, um setor de negócios e a humanidade como um todo (HOEKSTRA et al., 2011).

Quadro 01. Tipos de Pegada Hídrica

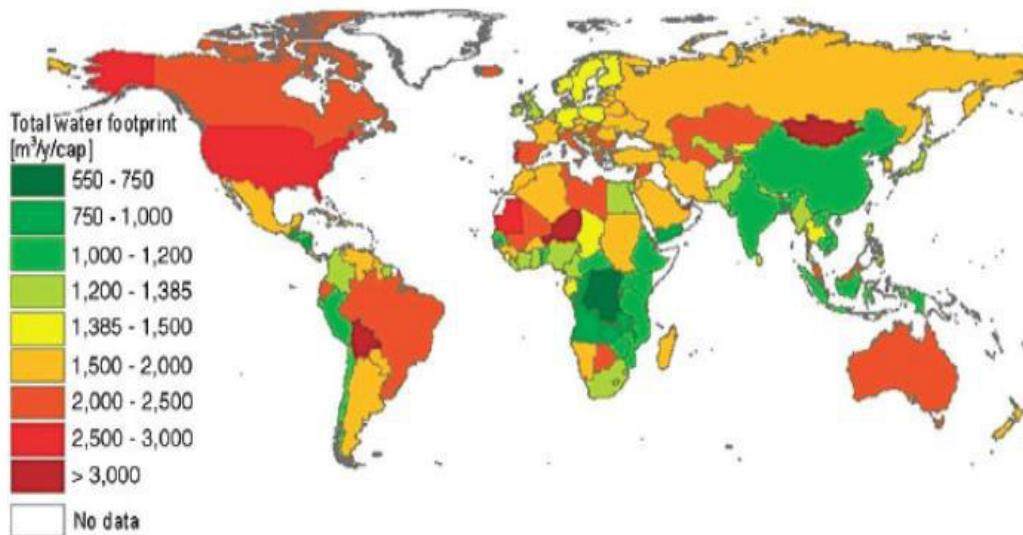
<b>TIPOS DE PEGADA HÍDRICA</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Pegada Hídrica de um produto	Soma das Pegadas Hídricas das etapas do processo de produção do produto.
Pegada hídrica de um consumidor	Soma das Pegadas Hídricas de todos os produtos consumidos pelo consumidor
Pegada Hídrica de uma comunidade	Soma das Pegadas Hídricas individuais dos membros da comunidade.
Pegada Hídrica de uma empresa	Soma das Pegadas Hídricas dos produtos finais que a empresa produz.
Pegada Hídrica de uma área geograficamente delimitada (município, província, estado, nação, bacia hidrográfica)	Soma das Pegadas Hídricas de todos os processos que ocorrem na área.

Fonte: Adaptada de Hoestra et al (2011)

A Figura 05 ilustra a pegada hídrica per capita dos diferentes países, possibilitando assim uma visão global de sua distribuição no mundo. Os países com coloração vermelha

registram uma pegada hídrica superior à média global, já os países em verde, por sua vez, são caracterizados por possuírem uma pegada hídrica inferior à média.

Figura 05. Pegada hídrica per capita dos diversos países ( $\text{m}^3/\text{per capita/ano}$ )



Fonte: Chapagain; Hoekstra (2004)

Os fatores diretos que determinam a PH de um país são o volume de água, relacionados com rendimento nacional bruto, e o padrão de consumo, alto ou baixo consumo de um produto, o clima e as práticas agrícolas relacionadas à eficiência do uso da água e ao tipo de cultivo (CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2004).

Para Chapagain e Tickner (2012), o conhecimento sobre importação e exportação de recursos hídricos virtuais de um país ou região ajudaria os governos a elaborar políticas mais adequadas à gestão de seus próprios recursos hídricos e, ao mesmo tempo, engajar-se com gerência destes recursos nas regiões externas das quais dependem. Estes ressaltam que os cálculos das pegadas hídricas nacionais, as futuras políticas devem resultar numa abordagem mais abrangente, contabilizando neste processo, não somente a retirada das águas de superfície e subterrâneas, mas a evaporação da água azul e verde como também a poluição das águas doces.

De acordo com Arribas e Rodriguez (2012) destacam como grandes exportadores de água virtual através do comércio agrícola, Brasil e Argentina. O Brasil ocupando o 5º lugar como exportador de água virtual através do comércio agrícola.

### 2.2.5. Pegada hídrica como um novo indicador de sustentabilidade de uso da água na agricultura

A ideia de uma agricultura sustentável revela, antes de tudo, a crescente insatisfação com o status da agricultura moderna. Indica o desejo social de sistemas produtivos que simultaneamente, conservem os recursos naturais e forneçam produtos mais saudáveis, sem comprometer os níveis tecnológicos já alcançados de segurança alimentar. Resulta de emergentes pressões sociais por uma agricultura que não prejudique o meio ambiente e a saúde (BEZERRA e VEIGA, 2000). Como ressalta Jr Miller (2014), a agricultura de baixo insumo que tenha como objetivo alimentar a população do mundo e ao mesmo tempo manter e restaurar o capital natural da Terra e viver à custa da renda natural que ela fornece.

A preocupação crescente com o aumento da população mundial, com a degradação dos recursos naturais e com a sustentabilidade da agricultura tem exigido esforços no desenvolvimento de estratégias e práticas adequadas de uso do solo, a partir do entendimento das relações entre a agricultura e o clima. Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o planejamento e o processo da agricultura, tem sido um dos objetivos das instituições governamentais ligadas à agricultura, ao ambiente e aos recursos naturais (MONTEIRO, 2009).

Para Silva et al (2013), a PH como indicador de sustentabilidade, é capaz de monitorar o impacto humano sobre o meio ambiente. Os autores afirmam que os indicadores de sustentabilidade devem ser usados e interpretados em conjunto visando à avaliação dos impactos ambientais de produção e consumo. Para os autores essa técnica fornece uma resposta específica da pressão humana sobre o meio ambiente e ajuda de forma mais abrangente a monitorar o pilar ambiental da sustentabilidade.

Para Bernardo (2010), ao manejar de forma racional qualquer projeto de irrigação, devem-se considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência de uso de água e minimizar os custos. O autor aborda que é de capital importância que se persiga uma maior sustentabilidade no uso dos recursos hídricos e de energia para se obter o real crescimento na produtividade agrícola e na oferta permanente de empregos no meio rural. Ressalta ainda uma vez que os projetos de irrigação precisam ter sustentabilidade, e se necessário impor limites mínimos de eficiência do uso da água para os diferentes métodos de irrigação em uso no País.

Os métodos para uma produção agrícola sustentável baseado a partir de um planejamento ambiental com uso de indicadores ambientais, pode-se citar algumas possíveis metas de redução da PH na agricultura baseadas em Hoekstra et al (2011) como:

1. PH verde – diminuir a pegada hídrica verde ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) através do aumento da produtividade da água verde ( $\text{ton m}^{-3}$ ) tanto na agricultura de sequeiro, quanto na agricultura irrigada. Aumentar a produção total da agricultura de sequeiro.

2. PH azul – Diminuir a pegada hídrica azul ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) através do aumento da produtividade da água azul ( $\text{ton m}^{-3}$ ) na agricultura irrigada. Diminuir as relações entre as pegadas hídricas azul/verde. Diminuir a pegada hídrica azul global em torno de ( 50 %).

3. PH cinza – Reduzir o uso de fertilizantes e pesticidas artificiais; aplicação mais efetiva. A pegada hídrica cinza pode ser anulada com a implantação da agricultura orgânica.

As opções de redução da PH para agricultores apontados por Hoekstra et al., (2011) são:

1. Para reduzir a pegada hídrica verde da cultura

- 1.1. Aumentar a produtividade da terra (produção,  $\text{ton ha}^{-1}$ ) na agricultura de sequeiro através do aperfeiçoamento das práticas agrícolas; como a chuva na terra permanece a mesma, a produtividade da água ( $\text{ton m}^{-3}$ ) vai aumentar e a PH verde ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) vai diminuir.

- 1.2. Uso de cobertura morta do solo diminuindo, assim, a evaporação da superfície do solo.

2. Para reduzir a pegada hídrica azul da cultura

- 2.1 Optar por uma técnica de irrigação que proporcione menor perda por evaporação.

- 2.2 Escolher cultura ou variedade que melhor se adapte ao clima da região, diminuindo a demanda de água para irrigação.

- 2.3 Aumentar a produtividade da água azul ( $\text{ton m}^{-3}$ ) ao invés de maximizar a produtividade da terra (produção,  $\text{ton ha}^{-1}$ )

- 2.4 Melhorar o cronograma de irrigação, otimizando a frequência e a lâmina das aplicações.

- 2.5 Diminuir a irrigação (irrigação deficitária ou irrigação suplementar).

3. Para reduzir a pegada hídrica cinza da cultura

3.1. Diminuir ou eliminar a aplicação de produtos químicos (fertilizantes e pesticidas artificiais) optando pela agricultura orgânica.

3.2. Aplicar o fertilizante ou composto de modo que facilite a absorção pelas plantas, reduzindo o risco de lixiviação e de escoamento.

3.3. Otimizar a forma de cronograma de aplicação de produtos químicos seu volume, sua lixiviação ou escoamento.

Hoeskstra et al (2011), abordam que os elementos chaves para uma estratégia governamental voltada à redução da pegada hídrica são:

- Aumentar a conscientização sobre a questão da água entre os consumidores e produtores;
- Promover o uso de tecnologias que visam á economia de água em todos os setores da economia;
- Reestruturar os mecanismos de cobrança pelo uso da água de modo que o custo real da água se torne parte do custo dos produtos finais;
- Promover a transparência do produto ao longo das cadeias de fornecimento e reestruturar as economias baseadas no suprimento insustentável de água.

## **2.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA ( $ET_o$ ) E O COEFICIENTE DE CULTURA ( $K_c$ )**

### **2.3.1 Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ )**

O termo evapotranspiração é definido como a ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (PEREIRA et al.,1997).

Sobre a aplicação do conceito de evapotranspiração de referência, Allen et al. (1998) definem que “foi introduzido para estudar a demanda de evapotranspiração da atmosfera, independentemente do tipo e desenvolvimento do cultivo, e das práticas de manejo”.

A ETo é uma evapotranspiração de uma cultura hipotética que cobre todo o solo em crescimento ativo, sem restrição hídrica nem nutricional (ótimas condições de desenvolvimento), com altura média de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência da superfície de  $70 \text{ s.m}^{-1}$  (BERNARDO, et al., 2006).

Em razão do intenso uso da evapotranspiração de referência nos estudos de relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, principalmente quando o interesse é aplicação em irrigação, muitos métodos empíricos com base em dados meteorológicos foram criados para estimá-la, como uma forma de simplificar a estimativa Filho et al., (2011):

- Método de Thornthwaite – foi desenvolvido por Thornthwaite (1948) nos Estados Unidos com o objetivo de estimar a ETo de uma forma bastante simples a partir da temperatura do ar, expressando (essa variável) a energia disponível no ambiente.
- Método de Camargo – o método foi desenvolvido por Camargo (1971) é uma simplificação do Método de Thornthwaite (1948), com uso apenas da temperatura média do ar e com a vantagem de não exigir dados normais de sua temperatura.
- Método de Hangreaves-Samani – também utiliza como variável a temperatura do ar, tendo sido desenvolvido para as condições de clima semiárido da Califórnia.
- Método do tanque Classe A – Baseia no fato de que há uma relação entre a evaporação do tanque Classe A e a ETo. Essa relação é afetada pelas diferenças entre os mecanismos de perda de água de uma superfície vegetal extensa e a pequena superfície de um tanque com paredes laterais exposta.
- Método de Priestley-Taylor - sugeriram uma simplificação do método original de Penman (1948), pela qual o termo aerodinâmico é calculado com uma fração que ele representa em relação ao termo energético.



### 2.3.2 Precipitação efetiva ( $P_{eff}$ )

A precipitação é entendida em hidrologia para Tucci (2003) como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. O que diferencia essas formas de precipitações é o estado em que a água se encontra.

Barreto et al. (2004) definem a precipitação efetiva como “a fração da precipitação natural que está disponível para atender a demanda evapotranspirativa da cultura”. Sobre o aproveitamento da precipitação natural como efetiva, Barreto et al. (2004) consideram:

Quando ocorrem chuvas fortes e intensas, apenas uma fração da água precipitada infiltra no solo para ficar disponível à cultura. O restante percola e escoam superficialmente. Neste caso diz-se que a efetividade da chuva é baixa. Quando o solo encontra-se com baixo teor de umidade e ocorrem chuvas de baixa intensidade e frequentes, as perdas por percolação e escoamento superficial são pequenas, ou podem não existir, aumentando a efetividade da chuva (BARRETO et al, 2004).

Barreto et al (2004) citam que para determinar a precipitação efetiva, existem vários métodos como os quais: Método do Balanço de Umidade no Solo, Método do Lisímetro, Método do U.S. Bureau of Reclamation e Método do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos da América (EUA), além de vários tipos de equações.

Cita-se o Método bastante utilizado como o do Serviço de Conservação de Solos dos EUA, cujo método estima a precipitação efetiva média mensal em função dos valores regionais de precipitação média mensal e da evapotranspiração potencial da cultura mensal, para as condições em que a capacidade total de água do solo seja igual a 75 mm (BERNARDO, et al.; 2006).

### 2.3.3 Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ )

Bernardo et al., (2006) definem que a evapotranspiração de determinada cultura sob condições normais de cultivo e sem a obrigatoriedade de o teor de umidade permanecer sempre próximo à capacidade de campo, e que esta determinação é fator de vital importância para o correto manejo dos sistemas de irrigação.

Conforme Allen et al. (1998), a evapotranspiração do cultivo sob condições padrão se denomina ( $ET_c$ ), e se refere à evapotranspiração de qualquer cultivo quando se encontra isento de enfermidades, com boa fertilização e que se desenvolve em parcelas amplas, sob ótimas condições de solo e água, e que alcança a máxima produção de acordo com as condições climáticas reinantes”.

Filho et al (2011) abordam que para os diferentes estádios fenológicos das culturas e sua ocupação na área disponível, ocorre a chamada evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), também denominada de evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ), pois ela é definida para condições específicas que não afetam o crescimento/desenvolvimento da cultura, ou seja, não ocorrência de pragas e doenças, deficiências nutricionais e hídricas, estando o solo com água facilmente disponível . Apesar de sua determinação ser difícil e muitas vezes inexata, é muito importante para um bom dimensionamento de projetos de irrigação, visto que ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção da cultura em condições legais.

#### 2.3.4 Coeficiente da cultura

Um planejamento da irrigação baseado em valores empíricos do  $K_c$ , que não seja do local estabelecido, certamente acarretará sobre-estimativa ou subestimativa das reais necessidades hídricas da cultura que, associado a outros fatores, reflete nos custos de produção, na redução da qualidade do produto e na produtividade agrícola (SILVA et al., 2000).

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura ( $ET_c$ ), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário para o dimensionamento de sistema de irrigação quanto para operacionalização de perímetros irrigados (MOHAN & ARUMUGAM, 1994; CLARK et al., 1996).

O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), definido como uma relação entre a evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_c$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), é um fator importante no

indicativo do consumo de água ideal para a planta durante todo o seu ciclo, constituindo-se, portanto, num elemento imprescindível para um escalonamento mais racional de projeto e manejo de irrigação. O coeficiente de cultura depende do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes. Segundo Doorenbos e Pruitt (1977), o coeficiente de cultura relaciona a evapotranspiração de uma cultura que cresce sob condições ótimas produzindo rendimentos máximos com a de uma cultura de referência, com a cultura da grama.

Encarnação (1987) comenta que a necessidade de água de cada cultura em suas diferentes fases de desenvolvimentos, é realizada com o emprego de coeficientes culturais, os quais são obtidos experimentalmente e permitem ajustar diferentes épocas de plantio em culturas de sequeiro e planejar o manejo de água em culturas irrigadas. Segundo Azevedo et al. (1993) em algumas culturas o coeficiente de cultura atinge valores superiores a unidade, particularmente durante o subperíodo de maior consumo hídrico, o que torna o termo "potencial" de significado questionável.

## 2.4 CULTIVO DA PIMENTA MALAGUETA

A pimenta-malagueta (*Capsicum spp*) é um arbusto pequeno pertencente a família das solanáceas, nativo de regiões tropicais e muito cultivada no Brasil. O arbusto possui flores alvas e frutos vermelhos bastante picantes, utilizados como condimento e excitantes do aparelho digestivos, sendo utilizados na América Latina desde a época prehispânica (SANTOS *et al.*, 2008).

A pimenta, *Capsicum sp*, faz parte da família das Solanaceae e da Tribo das Solaneae. O gênero *Capsicum* que apresenta mais de 150 variedades, tendo o termo de origem grega, “Kapto”que significa “morder”, todas derivadas de cinco espécies cultivadas: *Capsicum annuum*, - 20 -- -2 0 -*Capsicum baccatum*, *Capsicum chinense*, *Capsicum frutescens* e *Capsicum pubescens*. A capsaicina apresenta propriedades medicinais comprovadas, atua como cicatrizante, antioxidante, bactericida, auxilia na dissolução de coágulos sanguíneos, previne a arteriosclerose, controla o colesterol, evita hemorragias, aumenta o gasto calórico e influencia na liberação de endorfinas (DUTRA *et al.*, 2010).

A pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) da família das Solanaceae é um pequeno arbusto nativo das regiões tropicais da América, sendo uma das pimentas mais conhecidas e

utilizadas no Brasil, cultivada principalmente na Zona da Mata Mineira e no interior de São Paulo e Rio Grande do Sul (MANARA *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2000).

As pimentas, principalmente a malagueta, são estimadas por condimentar comidas e excitar o apetite. Devido à presença da *capsaicina* (princípio ativo da pimenta) são acres e com alto grau de pungência, provocando localmente estímulo rápido e energético (BRAGA, 1976). As propriedades medicinais cientificamente comprovadas são auxiliares na digestão. Sua ingestão aumenta a salivação e estimula a secreção gástrica e a motilidade gastrointestinal, dando uma sensação de bem estar. A *capsaicina* atua na diminuição do nível de gordura no sangue, como expectorante ajudando a descongestionar vias respiratórias, como redutora de inflamações e, pelo teor de vitamina C, como antioxidante sendo capaz de contribuir para a eliminação de radicais livres e, assim, retardar o processo de envelhecimento das células (REIFSCHNEIDER, 2000).

Essa espécie é muito conhecida pela denominação de malagueta, incluindo também as malaguetinhas e os malaguetões. O centro de origem é a América do Sul, e no Peru é conhecido o seu mais antigo registro arqueológico (1.200 a.C.). Apresenta variabilidade bem menor que as demais espécies cultivadas no Brasil. As flores formam-se em número de um a cinco por nó, como pedicelo tipicamente ereto e de diâmetro bem reduzido em relação às demais espécies. A corola é verde-clara podendo ser também branca-esverdeada, sem manchas. Os lóbulos dobram-se para trás após a antese. O cálice não tem constrição quando o fruto amadurece, raramente apresenta nervuras ou dentes. Em algumas populações de fruto graúdo, o cálice rechace. O fruto possui polpa mole e a semente é de cor palha a dourada, lisa e mais reta e espessa no hilo (CASALI e COUTO, 1984).

A principal característica do fruto da pimenta é a pungência, conferida por substâncias alcalóides denominados capsaicinóides dos quais, aproximadamente, 90% encontram-se na placenta dos frutos. Os diferentes tipos de pimentas apresentam diversas formas de preparo e de consumo, sendo uma das hortaliças mais versáteis para a indústria de alimentos. As pimentas doces e picantes podem ser processadas na forma de pó, flocos, pickles, escabeches, molhos líquidos, conservas de frutos inteiros, geléias entre outras. (SANTOS *et al.*, 2008).

A pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) é uma das mais utilizadas na culinária e na medicina popular brasileira (Figura 06). Os frutos são pequenos e vermelhos quando maduros e possuem aroma e sabor forte, bastante picante. A pimenta jalapeño (*Capsicum annuum*) é uma famosa pimenta, cujos frutos são cônicos, de coloração verde-claro a verde-escuro quando não maduros e vermelha quando maduros. Já a pimenta dedo-de-moça

(*Capsicum baccatum*), é uma das mais consumidas no Brasil. Os frutos são alongados e pendentes, com coloração verde (imaturo) e vermelha (maduro), provocando ardência com moderação (DUTRA *et al.*, 2010).

Figura 06. Pimenta Malagueta



Fonte: VALVERDE R (2011)

As pimentas foram possivelmente os primeiros aditivos alimentares utilizados pelas civilizações antigas do México e da América do Sul. Essas civilizações conheciam a contribuição daqueles frutos para o aroma, cor e sabor dos alimentos, e assim selecionaram variedades para usos específicos. As pimentas eram usadas regularmente para tornar a ingestão de carnes e cereais mais atraente. Possuíam também a função de preservar os alimentos de contaminação por bactérias e fungos patogênicos, contribuindo para a saúde e longevidade e a manutenção da capacidade reprodutiva daquela gente (REIFSCHNEIDER, 2000).

As pimentas são estimulantes para o apetite e auxiliares da digestão. Sua ingestão aumenta a salivação e estimula a secreção gástrica e a motilidade gastrointestinal, promovendo a sensação de bem estar após a ingestão (BONTEMPO, 2007).

#### 2.4.1 Comercialização

O mercado para a industrialização da pimenta consiste, basicamente, na secagem, na conserva do fruto inteiro e na produção de molho. No processo de conserva do fruto inteiro, a pimenta é acondicionada em embalagens de vidro em solução com álcool, cachaça, vinagre,

óleo de cozinha ou azeite. A variedade deve apresentar frutos com boa aparência, uniformidade no tamanho e na forma, frutos túrgidos e boa conservação. Geralmente se comercializa em caixas de 12 kg. As pimentas menores são embaladas em garrafas, em conserva com vinagre, sal e óleos comestíveis. É muito comum a comercialização em feiras livres ou indústrias de conservas (FRAIFE FILHO *et al.*, 2011).

A produção de pimenta (*Capsicum spp*) para uso como condimento de mesa e de produtos alimentícios industrializados vem crescendo e, atualmente, é uma atividade olerícola bastante rentável, inclusive para pequenas indústrias de conservas (GAIOTTO *et al.*, 1999).

O mercado de pimentas (*Capsicum sp.*) processadas é explorado em agroindústrias familiares ou de pequeno porte, empresas de médio e grande portes. As grandes empresas são especializadas no processamento de produtos, como páprica e pasta de pimenta, as de porte médio, em geral, têm conservas, molhos, geléias, conservas ornamentais ou blend comercializados em supermercados, mercearias especializadas, lojas de conveniência e de produtos importados, delikatessens e também em lojas de decoração. É comum o processamento de pimentas na forma de conservas, por pequenas agroindústrias familiares, com envase em garrafas de vidro e comercializadas diretamente em feiras livres, mercados de beira de estrada, pequenos estabelecimentos comerciais e atacadistas (GAIOTTO *et al.*, 1999).

## 2.5 Modelo CROPWAT 8.0

O modelo CROPWAT é o mais utilizado nos estudos pesquisados de Pegada Hídrica, empregado em diversos estudos consultados, que incluem Pina (2010), Muller (2012), Mekonnen e Hoekstra (2010), Salmoral *et al.* (2010), Velázquez (2007), dentre outros. Este modelo faz a estimativa da evapotranspiração de culturas agrícolas, com base na equação de Penman-Monteith.

O modelo CROPWAT tem como público-alvo agrometeorologistas, agrônomos e engenheiros de irrigação, pois é utilizado como ferramenta de aplicação no desenvolvimento para práticas de irrigação e no planejamento de irrigação de acordo com o suprimento de água da região ao longo do ano, levando-se em consideração as chuvas durante o período.

De acordo com Minuzzi *et al.* (2012), o software CROPWAT 8.0 foi “desenvolvido pela FAO especificamente para dar suporte às decisões quanto ao manejo da irrigação”. Com relação à obtenção de dados de irrigação através do software, Sampaio *et al.* (2000) definem

que “o cálculo das necessidades de irrigação é efetuado pela diferença entre a evaporação máxima da cultura e a precipitação efetiva, com base em dados mensais, utilizando alguns métodos empíricos na determinação da precipitação efetiva”.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**



### 3.1 Caracterização e localização da área de estudo

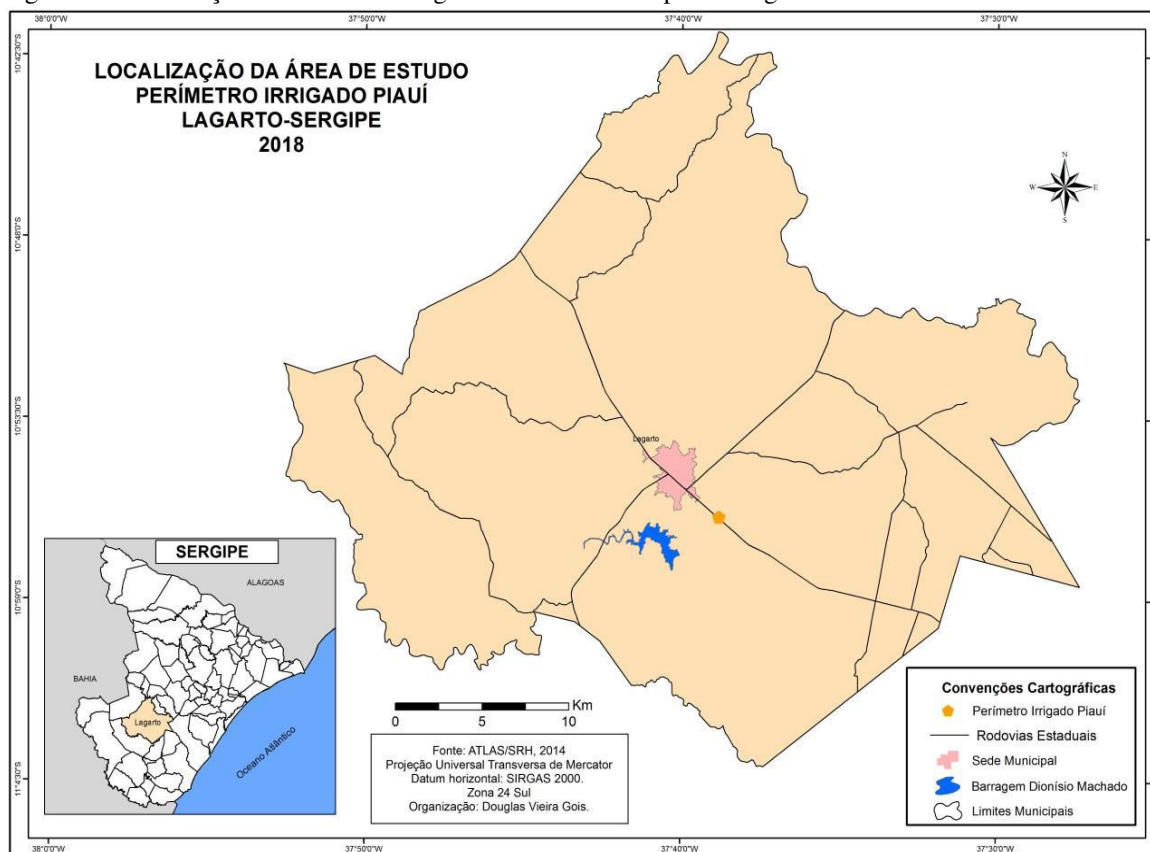
O presente estudo foi realizado no Perímetro Irrigado Piauí - PIPIA, localizado no município de Lagarto/SE região Agreste do Estado de Sergipe como pode ser observado na figura 07. O PIPIA encontra-se a 69 km de Aracaju, capital sergipana, cujas coordenadas geográficas são 10°44'S latitude e 37°20'W de longitude. O espaço é administrado pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO, 2010).

Segundo informações da COHIDRO (2013), o PIPIA possui 1.450 hectares, sendo 703 deles irrigáveis. A área do Perímetro está totalmente contida dentro da bacia do Rio Piauí. O PIPIA está situado a leste da margem esquerda do lago, tem a sua rede de drenagem natural constituída pelos pequenos riachos tributários do Piauí. O método predominante de irrigação é a aspersão convencional e a microaspersão. Dentre os rios pertencentes à bacia do rio Piauí, apenas o Piauitinga possui água doce de boa qualidade para beber, responsável pelo abastecimento para o consumo humano de todos os municípios da região sul e centro sul do Estado de Sergipe, totalizando 24 municípios (CARVALHO e SANTANA, 2009).

A estrutura física do PIPIA de acordo com COHIDRO (2013) consiste em uma barragem de uma barragem de alvenaria de pedra e concreto, no rio Piauí, com 20 metros de altura e 465 metros de comprimento, formando um reservatório de acumulação normal de 15 milhões de metros cúbicos de água, ocupando uma área de 345 hectares. As principais culturas exploradas são Batata Doce, Inhame, Mandioca, Repolho, Pimenta Malagueta e Jalapeño, Pimentão, Quiabo, Tomate, Maracujá, Amendoim, Mamão, Laranja e Mudas Citrícolas.

O clima da região, segundo Fontes e Santos (1999), é megatérmico Subúmido, apresenta moderados excedentes hídricos no inverno, e com estação seca bem definida e deficiência hídrica no verão. A temperatura média anual em 2009 foi de 24,4°C; a precipitação total de 1.247,3mm e com média anual em torno de 103,9 mm (COHIDRO, 2010).

Figura 07. Localização do Perímetro Irrigado Piauí no Município de Lagarto/SE



Fonte: Adaptado do Atlas digital de Recursos Hídricos do estado de Sergipe, 2016  
Org.: Douglas Vieira Gois (2018)

### 3.2 Área de estudo e tratos culturais

No PIPIA a produção das variedades de pimenta malagueta, jalapeño e habanero surgiu há cerca de 10 anos e sempre foi impulsionada pela atividade industrial local da Empresa de Indústria Alimentícias (Maratá). Atraídos pelo preço compensativo, produtores irrigantes investiram na implantação de plantações da pimenta.

A pimenta malagueta, com uma área colhida de 80,5 hectares em 2011, corresponde a uma das maiores áreas cultivadas no município, com destaque para o interesse industrial do Maratá, que utiliza o produto para a produção de molhos. Neste mesmo ano, a produção dos agricultores junto à Cohidro em Lagarto foi de 10 toneladas por hectare, produzindo 805 toneladas no total das áreas cultivadas, fazendo render aos agricultores do perímetro Piauí R\$ 4,83 milhões de valor total da produção (SERGIPE, 2011).

O plantio ocorre através da sementeira e depois transplantam-se as mudas para um local definitivo, ao atingirem 10cm de altura e 6 folhas definitivas. Como pode ser observado nas Figuras 08 e 09.

Figura 08. Plantio de pimenta-malagueta em sementes no Perímetro Irrigado Piauí, localizado na região Agreste do Estado de Sergipe.



Fonte: Pesquisa de Campo (2017)

Figura 09. Pimenteira malagueta em mudas no Perímetro Irrigado Piauí, localizado na região Agreste do Estado de Sergipe.



Fonte: Pesquisa de Campo (2017)

Inicia-se a colheita de 100 a 120 dias da semeadura, sendo que o período produtivo pode prolonga-se por 90 dias ou até mais tempo. As pimenteiras são colhidas após atingirem a coloração vermelha estando madura ou ainda verde (FILGUEIRA, 2010).

Como seu ciclo cultural é longo, os produtores utilizam aplicação de adubos minerais e substâncias orgânicas. A adubação é feita semanalmente e utiliza em média por canteiro de 8 a 10 kg de adubos para cada adubação.

O sistema de irrigação adotado pelos produtores foi de micro aspersão e o convencional. As irrigações são feitas de duas a três vezes por dia a critério do produtor sem controle da lâmina d'água a ser aplicada. Para a captação de água utilizam sistema de poços artesianos.

No período chuvoso os produtores utilizam a irrigação com menos frequência, já na época do verão a irrigação ocorre em dias alternados. Os agricultores recebem a assistência da COHIDRO.

A empresa Maratá compra semanalmente 100 toneladas de pimenta malagueta aos produtores da região, a compra é realizada para fins alimentícios e são comercializados em salmouras, embalados em vidros ou garrafas. Cinquenta por cento da compra da pimenta vem de Lagarto, Riachão e Boquim, sendo que a maioria corresponde ao PIPIA e os outros cinquenta por cento a compra é realizada fora do estado principalmente nos estados de Alagoas e Bahia.

A COHIDRO tem papel fundamental nesse processo, pois é quem fornece a irrigação, único meio para o cultivo dessas espécies vegetais em escala industrial no Agreste Sergipano. São 30 os produtores de pimenta que têm seus lotes compreendidos pelo abastecimento do PIPIA. A COHIDRO além de prover aos irrigantes a água, atua fornecendo o agricultor com a assistência técnica.

### 3.3 Dados climáticos

Os valores de pluviosidade (mm), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), insolação diária (h) e temperaturas máximas e mínimas ( $^{\circ}\text{C}$ ), foram fornecidos pela COHIDRO e são valores médios mensais relacionados ao período entre 2012 a 2014 obtidos na estação meteorológica do PIPIA (Figura 10) que está localizada na latitude  $10^{\circ}44'S$ , longitude  $37^{\circ}20'W$  e a 160 metros de altitude acima do nível do mar.



Figura 10. Estação meteorológica no PIPIA em Lagarto-SE



Fonte: Pesquisa de Campo/COHIDRO (2017)

A partir dos dados meteorológicos obtidos da COHIDRO e com a utilização do modelo CROPWAT 8.0 da FAO, determinou-se os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), precipitação efetiva ( $P_{eff}$ ) e evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). Depois disso foi possível calcular os componentes azul e verde da PH para os anos de: 2012, 2013 e 2014.

### 3.4 Métodos

#### 3.4.1 Evapotranspiração de referencia ( $ET_o$ )

O cálculo da evapotranspiração de referência é baseado na seguinte equação

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \left(\frac{900U_2}{T + 237}\right)(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que:

$R_n$  é o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ),  $G$  o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ),  $T$  a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $U_{2m}$  a velocidade do vento a 2 m acima da superfície ( $\text{ms}^{-1}$ ),  $e_s - e_a$  o déficit de pressão de saturação do ar (Kpa),  $\gamma$  a constante psicométrica igual a 0,063  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  e  $s$  a tangente à curva de pressão de saturação de vapor na temperatura do ar ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.4.1 Cálculo da Evapotranspiração da Cultura

O cálculo de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) é realizado na multiplicação entre evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), conforme a seguinte função

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad [\text{mm dia}^{-1}] \quad (2)$$

### 3.4.2 Coeficiente de Cultivo – $K_c$

O coeficiente de cultivo da pimenta malagueta utilizado nesta pesquisa foi extraído de estudos realizados na região Agreste de alagoas, sendo obtidos os seguintes valores: 0,57 na fase inicial; 0,63 na fase de desenvolvimento; 1,68 na fase intermediária e 1,37 na fase final (SANTOS *et al*, 2016).

### 3.4.3 Determinação da evapotranspiração verde e azul

A evapotranspiração de água verde ( $ET_{\text{verde}}$ ) foi calculada, como o mínimo entre os valores da evapotranspiração total da cultura ( $ET_c$ ) e a precipitação efetiva ( $P_{\text{eff}}$ ), isto é:

$$ET_{\text{verde}} = \min(ET_c, P_{\text{eff}}) \quad (3)$$

A evapotranspiração de água azul ( $ET_{\text{azul}}$ ), foi calculada a partir do máximo da equação 4.

$$ET_{\text{azul}} = \max(0, ET_c - P_{\text{eff}}). \quad (4)$$

De acordo com a Equação 4, quando a precipitação efetiva é maior que a evapotranspiração da cultura, a  $ET_{\text{azul}}$  é igual à zero.

#### 3.4.4 Cálculo da necessidade hídrica das componentes verde e azul

A evapotranspiração total de água verde foi obtida através da soma de todas as  $ET_{\text{verde}}$  ao longo de todo o período de crescimento. O cálculo da necessidade hídrica verde foi obtida conforme a equação 5, para converter o resultado de mm para  $m^3 \text{ ha}^{-1}$  foi aplicando o fator 10.

$$C_{\text{verde}} = \alpha \times \sum_{d=1}^{dpc} Et_{\text{verde}} \quad (5)$$

Em que:  $C_{\text{verde}}$  = Necessidade hídrica verde ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ );  $ET_{\text{verde}}$  = Evapotranspiração de água verde ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $Dpc$  = duração do período de crescimento (dias);  $\alpha$  = fator de conversão;  $d$  = dias.

Já a necessidade hídrica azul foi determinada conforme demonstra a equação 6.

$$C_{\text{azul}} = \alpha \times \sum_{d=1}^{dpc} Et_{\text{azul}} \quad (6)$$

Em que:  $C_{\text{azul}}$  = Necessidade hídrica azul ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ );  $ET_{\text{azul}}$  = Evapotranspiração de água azul ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $dpc$  = duração do período de crescimento (dias);  $\alpha$  = fator de conversão e  $d$  = dias

#### 3.4.5 Componentes da pegada hídrica verde e azul da cultura da pimenta

A PH verde do processo de crescimento de uma cultura foi calculada dividindo-se o consumo de água verde da cultura ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ) pela sua produtividade ( $\text{ton ha}^{-1}$ ):

$$PH_{\text{verde}} = \frac{C_{\text{verde}}}{Y} \quad (7)$$

em que  $Y$  é a produtividade da cultura ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

A PH azul do processo de crescimento de uma cultura foi calculada dividindo-se o consumo de água azul da cultura ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) pela sua produtividade ( $\text{ton ha}^{-1}$ ):

$$PH_{\text{azul}} = \frac{C_{\text{azul}}}{Y} \quad (8)$$

#### 3.4.6 Componentes da pegada hídrica cinza da cultura da pimenta

A PH cinza foi calculada como a taxa de aplicação de químicos por hectare (TAQ,  $\text{Kg ha}^{-1}$ ) vezes a fração de escoamento, lixiviação ( $\alpha$ ) dividindo pela concentração máxima aceitável ( $C_{\text{máx}}$ ), menos a concentração natural ( $C_{\text{nat}}$ ) para o poluente considerado e, em seguida, dividido pela produtividade da cultura ( $Y$ ,  $\text{ton ha}^{-1}$ ), conforme a Equação abaixo:

$$PH_{\text{cinza}} = \frac{(\alpha \times \text{TAQ}) / (C_{\text{máx}} - C_{\text{nat}})}{Y} \quad (9)$$

Em que:  $PH_{\text{cinza}}$  = Pegada Hídrica cinza ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ );  $\alpha$  = Fração de lixiviação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ); TAQ = Taxa de aplicação de químicos por hectares ( $\text{Kg ha}^{-1}$ );  $C_{\text{máx}}$  = Concentração máxima aceitável para o poluente considerado ( $\text{Kg m}^{-3}$ );  $C_{\text{nat}}$  = Concentração natural do corpo receptor de água ( $\text{Kg m}^{-3}$ );  $Y$  = Produtividade da cultura ( $\text{ton ha}^{-1}$ ).

Para a fração de lixiviação foi adotado o valor de 10% com base na recomendação de Hoekstra et al (2011) e o valor da taxa de aplicação utilizado foi de  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ , de acordo com Filgueiras (2007) e Embrapa (2011).

No que diz respeito à concentração máxima de nitrogênio, foi adotado o valor de  $20 \text{ mg L}^{-1}$ , de acordo com o limite máximo permitido para rios enquadrados em Classe II pela resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) de 2011. Considerando-se recomendações de Hoekstra et al., (2011), adotou o valor de concentração natural de nitrogênio no corpo hídrico igual a zero.



### 3.4.7 Pegada hídrica total do processo da cultura da pimenta

O cálculo da PH total do processo de crescimento da cultura da pimenta foi obtida com base na soma dos componentes verde, azul e cinza, conforme demonstra a equação 10.

$$PH_{\text{total}} = PH_{\text{verde}} + PH_{\text{azul}} + PH_{\text{cinza}} \quad (10)$$

Em que :  $PH_{\text{total}}$  = Pegada Hídrica total de um processo de crescimento de cultura ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ );  
 $PH_{\text{verde}}$  = Pegada Hídrica verde ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ );  $PH_{\text{azul}}$  = Pegada Hídrica azul ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ );  $PH_{\text{cinza}}$  = Pegada Hídrica cinza ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Médias mensais das variáveis meteorológicas

Com base nos dados das principais variáveis meteorológicas da área experimental fornecidos pela COHIDRO, para os anos de 2012, 2013 e 2014, foram feitas as médias mensais de cada variável, as quais estão apresentadas nas Tabelas 01, 02 e 03.

Tabela 01. Médias mensais das variáveis meteorológicas para o ano de 2012 na região Agreste do Estado de Sergipe

MÊS	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA %	PRECIP (mm) TOTAL	INSOLAÇÃO HORA	VELOCIDADE
	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA				VENTO (2m) m/s
JAN	24,0	32,8	28,4	80,8	15,9	229	1,42
FEV	24,0	32,3	28,1	82,5	104,4	242	1,18
MAR	22,1	31,5	26,8	78,7	35,2	279	1,04
ABR	23,7	32,7	28,2	82,7	25,9	258	0,97
MAI	24,3	32,9	28,6	86,3	135,4	196	0,86
JUN	22,4	30,9	26,7	85,2	74,6	172	0,55
JUL	22,0	29,2	25,6	86,9	127,4	155	0,74
AGO	21,5	29,1	25,3	67,3	92,8	207	0,83
SET	22,2	30,2	26,2	83,8	104,7	211	0,99
OUT	22,6	30,5	26,6	83,9	38,1	228	1,15
NOV	23,8	34,7	29,2	81,4	20,6	232	1,62
DEZ	25,2	37,5	31,4	84,3	4,2	212	1,43
			0,0				
TOTAL					779,2	2.621,0	
MEDIA	23,1	32,0	27,6	82,0	64,9	218,4	1,1

Fonte COHIDRO ( 2017)

Tabela 02. Médias mensais das variáveis meteorológicas para o ano de 2013 na região Agreste do Estado de Sergipe

MÊS	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA %	PRECIP (mm)	INSOLAÇÃO HORA	VELOCIDADE
	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA				VENTO (2m) m/s
JAN	26,0	35,6	30,8	58,5	50,4	292,1	1,9
FEV	25,6	34,6	30,1	64,9	11,6	202	2,1
MAR	26,0	34,7	30,4	70,8	23,1	223,5	2,1
ABR	23,2	30,5	26,8	76,1	142,1	194	1,3
MAI	20,1	25,6	22,8	59,2	185,3	177,45	1,5
JUN	19,4	25,5	22,5	58,9	173,9	163,58	1,2
JUL	17,5	23,7	20,6	55,4	180,2	157,2	1,3
AGO	16,6	23,1	19,9	54,2	136,1	192,35	1,4
SET	17,6	25,4	21,5	51,9	27,4	246,4	1,6
OUT	19,9	29,0	24,4	21,9	9,3	278,2	1,9
NOV	25,2	34,3	29,8	45,3	30,6	273,35	2,3
DEZ	25,0	35,0	30,0	48,4	102,2	259,2	1,9
TOTAL							
					1.072,2	2.659,3	
MEDIA							
					89,3	221,6	1,7

Fonte COHIDRO (2017)

Tabela 03. Médias mensais das variáveis meteorológicas para o ano de 2014 na região Agreste do Estado de Sergipe

MÊS	TEMPERATURA °C			UMIDADE RELATIVA %	PRECIP (mm)	INSOLAÇÃO HORA	VELOCIDADE
	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA				VENTO (2m) m/s
JAN	17,2	29,4		68,15	52,0	146,35	1,48
FEV	16,82	28,14	22,48	67,57	103,30	87,3	1,49
MAR	16,71	27,10	21,90	72,61	145,60	205,3	1,04
ABR	16,60	25,47	21,03	75,68	110,80	133,5	0,88
MAI	15,43	22,13	18,20	78,42	206,50	100,4	0,85
JUN	19,80	27,60	23,70	43,00	109,60	96,8	0,90
JUL	19,50	26,30	22,90	74,20	155,90	50,25	1,00
AGO	19,18	26,98	23,08	75,37	88,50	168,55	1,01
SET	19,75	28,20	23,97	73,45	60,60	185,35	1,09
OUT	20,22	29,51	24,87	62,84	17,80	245,2	1,34
NOV	21,43	31,80	26,23	62,46	0,00	278,2	1,87
DEZ	22,25	32,52	27,39	62,89	8,70	241,25	1,60
TOTAL							
					1.059,3	1.938,5	
MEDIA							
					88,3	161,5	1,2

Fonte COHIDRO (2017)

## 4.2 Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta

A partir das variáveis médias mensais de 2012, 2013 e 2014 da região Agreste referente ao perímetro PEPIA, foram calculados os valores da evapotranspiração azul ( $ET_{\text{azul}}$ ) e verde ( $ET_{\text{verde}}$ ) respectivamente. Enquanto que a precipitação efetiva ( $P_{\text{eff}}$ ) foi calculado mensalmente dentro do período de cada ano, através do modelo CROPWAT 8.0

Com a obtenção dos valores de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e de precipitação efetiva ( $P_{\text{eff}}$ ) de 2012, 2013 e 2014, foram calculados a evapotranspiração azul ( $ET_{\text{azul}}$ ) e evapotranspiração verde ( $ET_{\text{verde}}$ ) utilizando o programa excel. Em seguida foram calculados os componentes da demanda hídrica azul (DHC azul) e verde (DHC verde) da cultura da pimenta respectivamente, cujos resultados estão apresentados nas Figuras 11; 12 e 13.

Figura 11. Valores da demanda hídrica verde e azul ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) na região Agreste de Sergipe da cultura da pimenta no ano de 2012

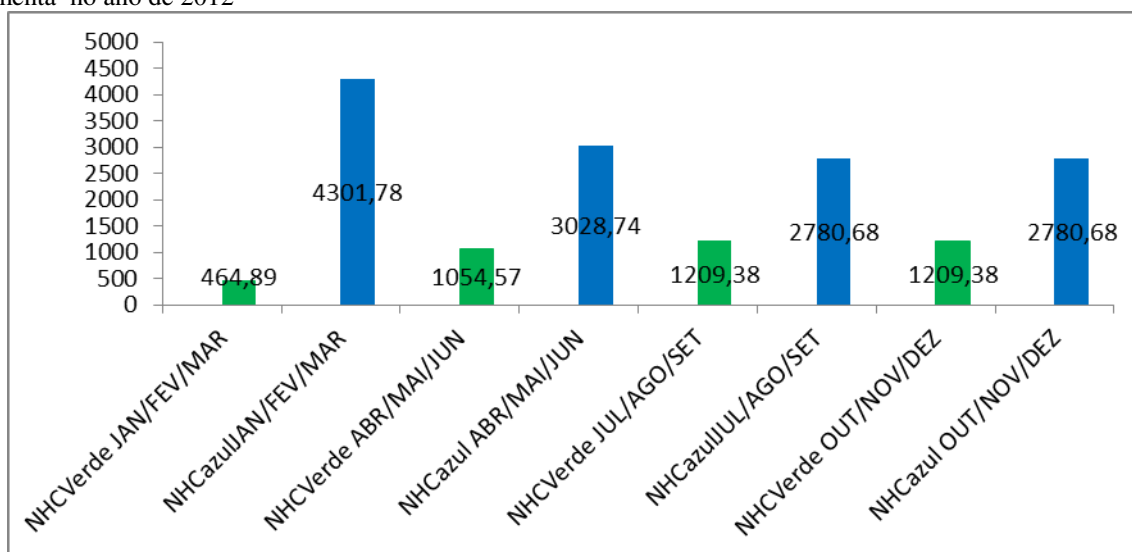


Figura 12. Valores da demanda hídrica verde e azul ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) na região Agreste de Sergipe da cultura da pimenta no ano de 2013

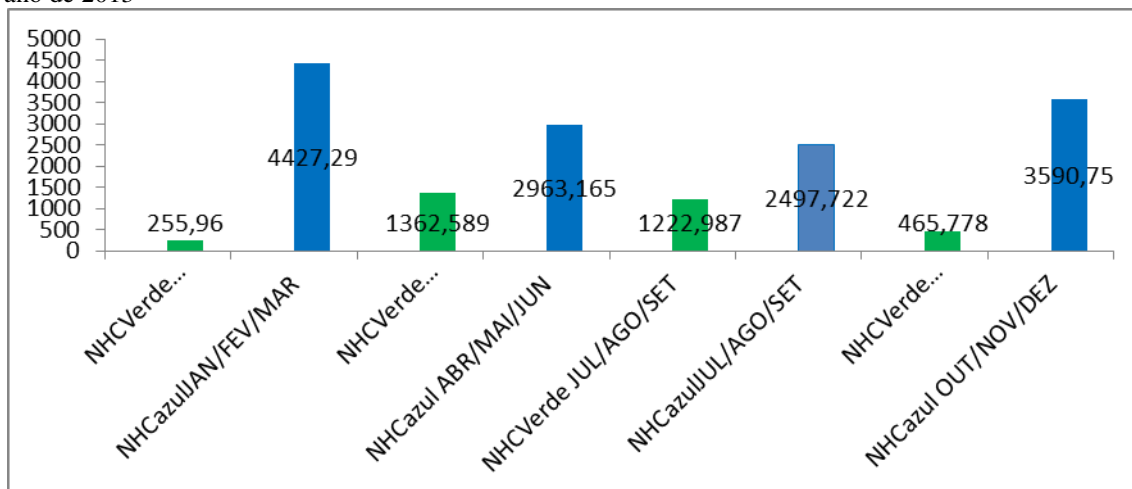
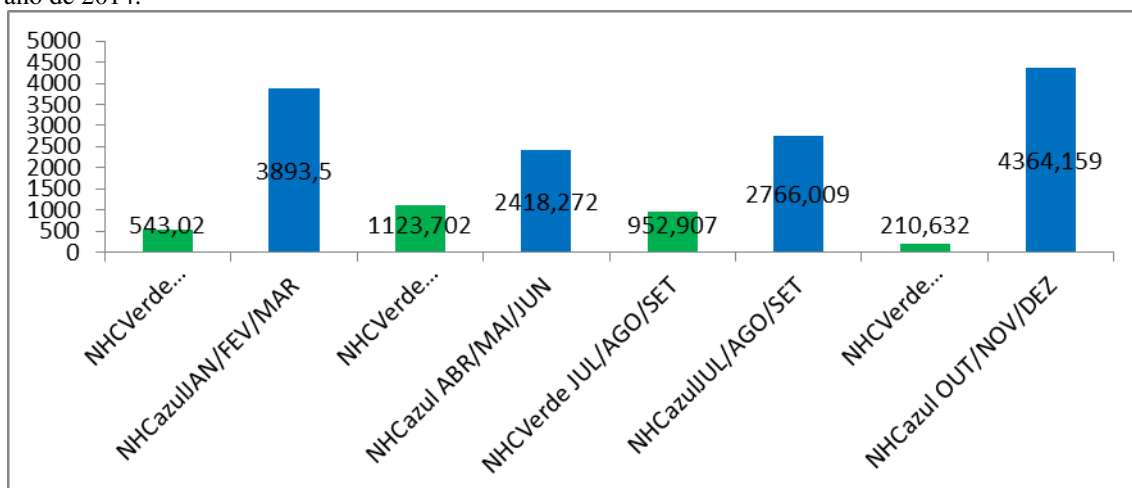


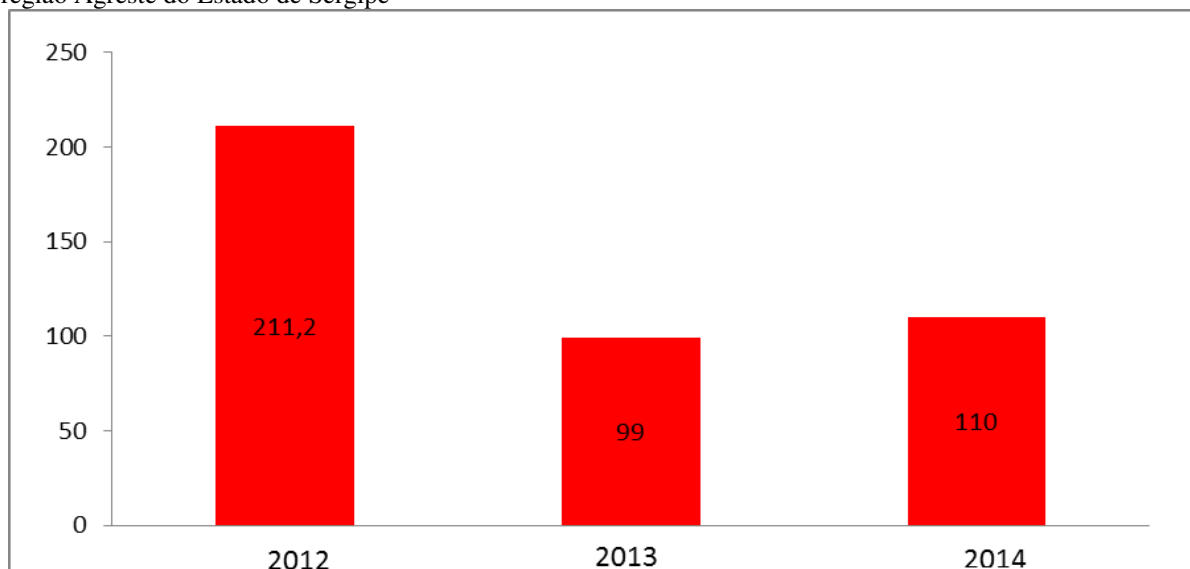
Figura 13. Valores da demanda hídrica verde e azul ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) na região Agreste de Sergipe da cultura da pimenta no ano de 2014.



Observou-se que os resultados de DHC azul e DHC verde de 2012, 2013 e 2014 mostram que DHCazul supera DHCverde em todos os anos. No período de verão e primavera apresenta uma DHC verde bem inferior que as demais estações do ano. Estes resultados esta com concordância com o trabalho Ribeiro (2014) onde observou o consumo de água verde e azul pela cultura da manga irrigada localizada em região de semiárido onde o componente de água azul foi superior da água verde. Uma vez que a região de estudo está localizada no Agreste sergipano, com distribuição espacial e temporal irregular de chuvas prevalecendo á pratica da agricultura irrigada para suprir a escassez; com isso o consumo de água azul apresenta-se maior que o de água verde nas estações primavera, verão e outono.

Para determinar a PH verde, azul e cinza da cultura da pimenta foram necessários os valores de produtividade de cada ano cujos valores estão apresentados na Figura 14.

Figura 14. Produtividade da cultura da pimenta malagueta (toneladas) durante os anos de 2012, 2013 e 2014 na região Agreste do Estado de Sergipe



Fonte: Cohidro (2017)

Os valores utilizados para o cálculo da PH cinza da cultura da pimenta malagueta estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04. Valores utilizados para o cálculo da pegada hídrica cinza ( $\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$ ) da cultura da pimenta malagueta na região e Agreste do estado de Sergipe

Taxa de lixiviação ( $\alpha$ )	Taxa de aplicação de químicos (TAQ)	Concentração natural máxima aceitável p/ o poluente.( $C_{\text{máx}}$ )	Concentração natural do corpo receptor ( $C_{\text{nat}}$ )
$\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$	$\text{Kg ha}^{-1}$	$\text{Kg m}^{-1}$	$\text{Kg m}^{-1}$
0,1	60	0,2	0

Fonte: Hoekstra(2011); Filgueiras(2007); Thoeh e Thompson (2007); CONAMA(2011)

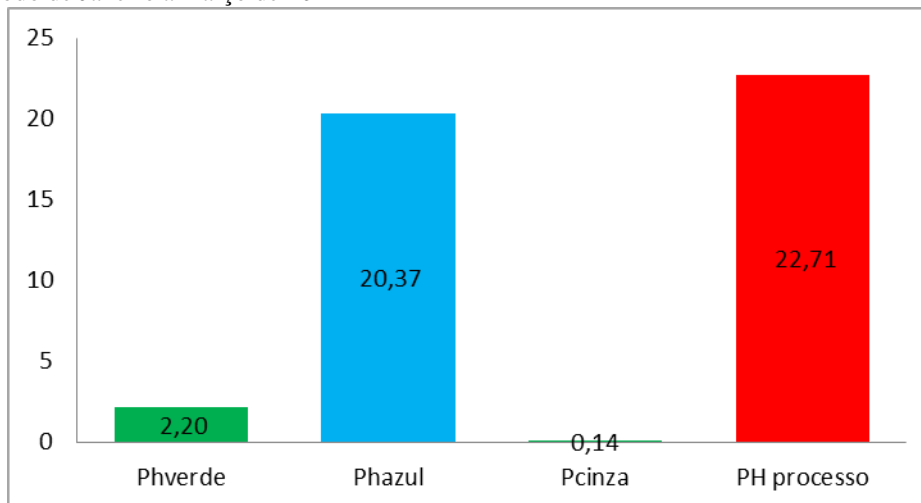
Neste estudo não foi analisado o efeito da aplicação de agroquímicos na área pesquisada em função não haver um controle por parte da empresa. Sendo assim, utilizou-se o poluente mais crítico que foi o nitrogênio e adotou-se o valor de concentração natural de nitrogênio no corpo hídrico igual a zero e a taxa de lixiviação 10% considerando as recomendações de Hoekstra et al (2011). Os dados referentes à aplicação de fertilizantes foram extraídos a partir de Filgueiras (2007) e Thoeh e Thompson (2007) e o valor da

concentração natural máxima aceitável para o poluente de acordo com os limites enquadrados no CONAMA (2011).

Com os dados da DHC azul e DHC verde e o valor de lixiviação, taxa de aplicação de químicos, concentração aceitável para o poluente crítico, concentração natural do corpo receptor de água e os valores de produtividade da massa fresca da cultura da pimenta foram obtidos os valores da PH verde, PH azul e da PH cinza respectivamente. Já a PH do processo é a soma dos resultados das PH verde, azul e cinza. Os valores contabilizados para o ano de 2012 estão apresentados nas figuras abaixo.

Para calcular a PH da cultura da pimenta foi preciso dividir a colheita por estação, em cada ano. No ano de 2012 na estação do verão (Figura 15) observou-se um alto valor na PH azul com valor de 20,37,  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  em comparação com as PH verde e cinza 2,20 e 0,14  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  respectivamente, ao passo que a PH azul aumenta, a PH verde diminui. A PH do processo da cultura da pimenta apresentou valor de 22,71  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  na estação de verão de 2012.

Figura 15. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação de verão na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Janeiro a março de 2012

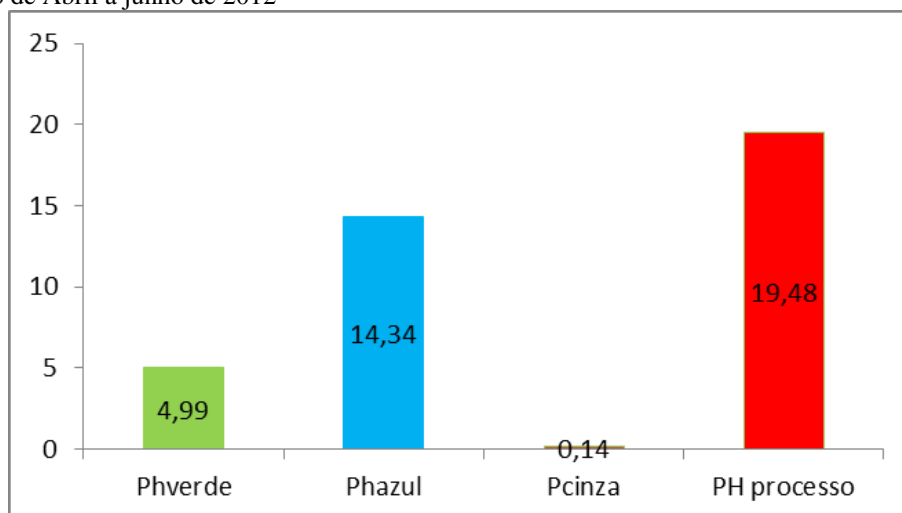


As PH da pimenta na estação do outono (figura 16) apresentam valores para as PH verde, azul e cinza aproximadamente de 4,99; 14,34; 0,14  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  em relação ao valor total de PH do processo foi de 19, 48  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ . Nessa estação do ano, observou se um aumento na água verde ( água das chuvas) . Esse resultado encontra-se em concordância com a literatura, uma vez que o período chuvoso corresponde aos meses de abril e agosto (outono-inverno), sendo que os meses mais chuvosos são maio e junho (CARVALHO, 2014). Mekonnen e Hoekstra (2010) em seu relatório encontraram quantificadas as PH para produções agrícolas



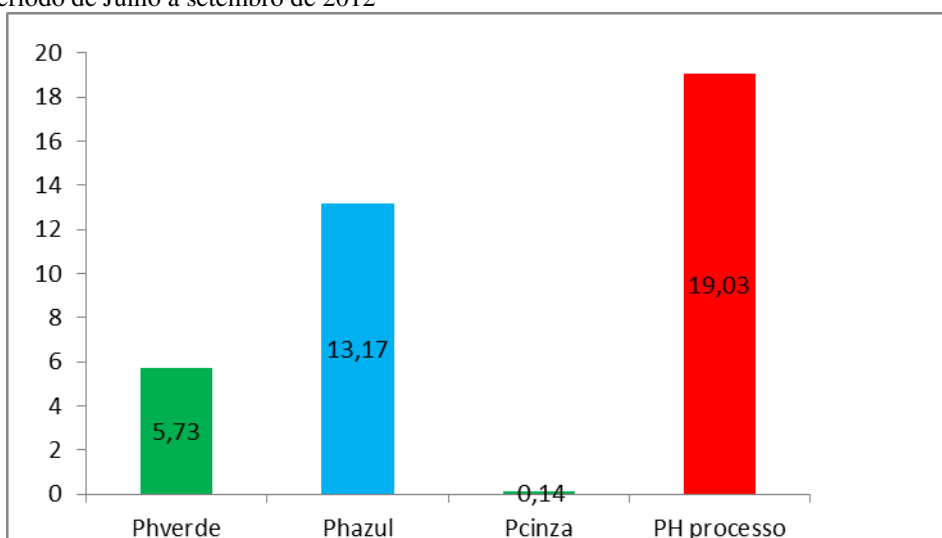
mundiais entre o período de 1996-2005, em que as pegadas hídricas verde, azul e cinza de uma cultura de alface apresentaram valores médios de  $133 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ,  $28 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$  e  $77 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$  respectivamente.

Figura 16. Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do outono na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Abril a junho de 2012



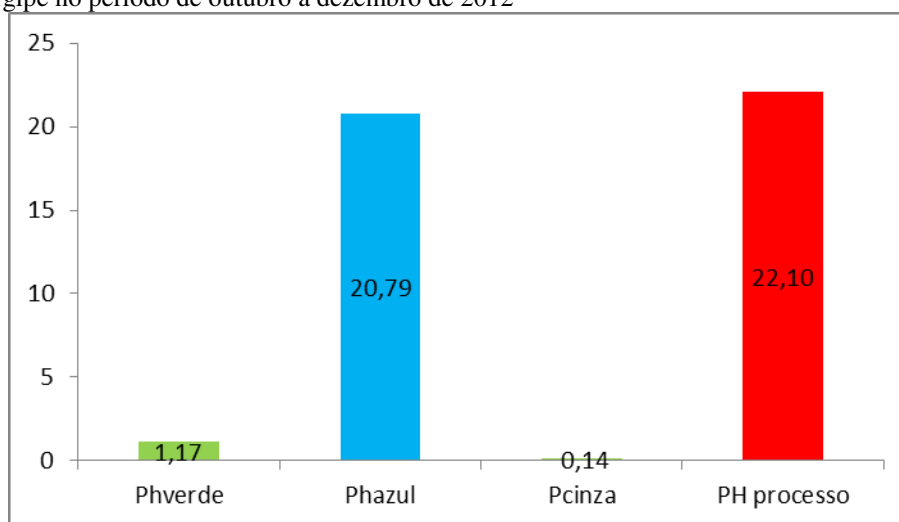
De acordo com a Figura 17, pode-se observar que as PH verde e azul apresentaram um aumento significativo, ou seja, a PH verde não foi tão baixa em relação a PH azul que vinha dando uma diferença enorme nas demais estações. A PH cinza que está voltada para água poluída manteve-se constante com  $0,14 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ , igual aos outros períodos/ estação do ano de 2012.

Figura 17. Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do inverno na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Julho a setembro de 2012



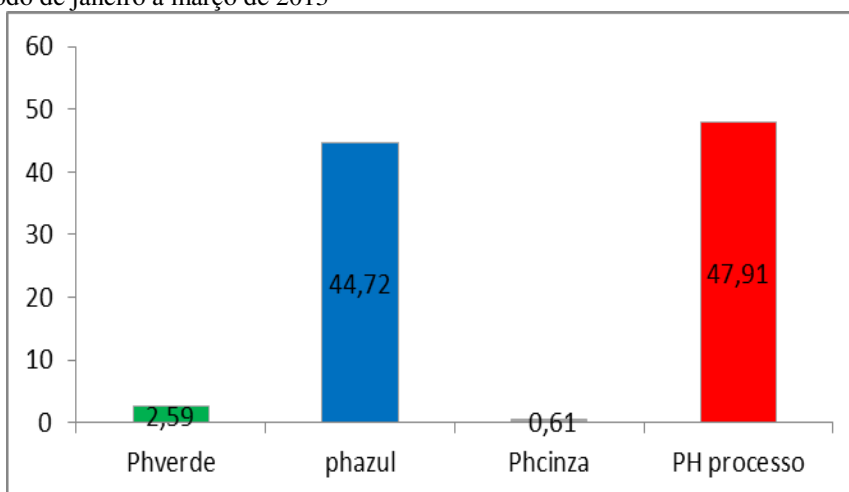
De acordo com a Figura 18, constata-se que os valores da PH verde, azul e cinza com valores estimados na ordem de 1,17; 20,79; e 0,14  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  respectivamente. Para os resultados apresentados observou-se uma menor produtividade de água verde, em relação à água azul (irrigação) que apresentou um alto valor. Fenômeno distinto nessa estação em comparação ao trabalho de Bonfim (2017) relacionado à PH do coentro no Agreste Sergipano, que notou no ano de 2016 a maior contribuição na PH verde com 62% do valor total que correspondeu a 145,12  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ . Essa diferença provavelmente aconteceu em função de ter que em 2016 na estação de inverno choveu acima da média climatológica em relação ao ano de 2012.

Figura 18. Pegada Hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação da primavera na região Agreste do Estado de Sergipe no período de outubro a dezembro de 2012



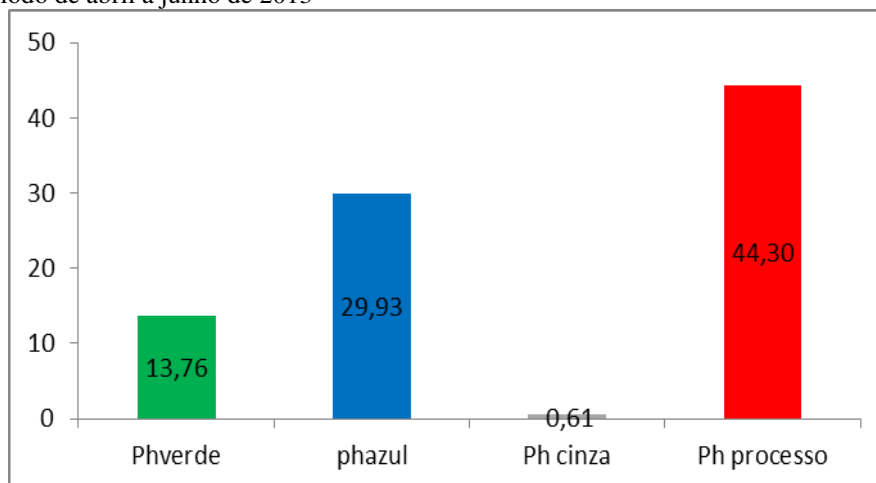
Na Figura 19 estão disponíveis os dados da PH da cultura da pimenta na estação de verão referente ao ano de 2013. Observou-se um alto valor na PH azul com valor de 44,72,  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  em comparação as PH verde e cinza 2,59 e 0,61  $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$  respectivamente do período pesquisado. Nesse sentido a demanda de irrigação foi maior que nos outros períodos. Silva et al., (2015) em suas medições e modelagem da PH na cultura da cana-de-açúcar cultivadas no Estado da Paraíba, concluíram que a PH verde diminui à medida em que ocorre acréscimo na lâmina de irrigação, enquanto que a PH azul aumenta em função do aumento na lâmina de irrigação.

Figura 19. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do verão na região Agreste do Estado de Sergipe no período de janeiro a março de 2013



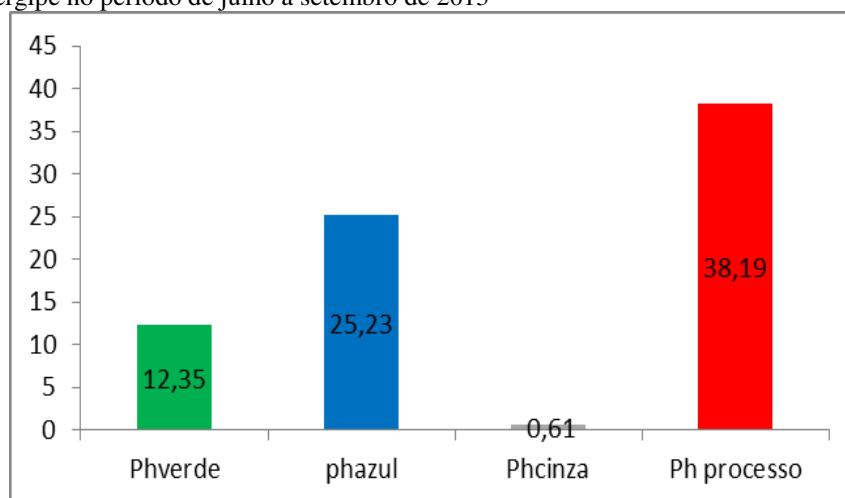
Na Figura 20 observou-se que em comparação a mesma estação de outono do ano de 2012, apresentou uma maior produtividade da PH verde que representa  $13,76 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ . Em relação a PH azul e a PH do processo também observou-se um aumento expressivo nesta estação com  $44,30 \text{ ton}^{-1}$ .

Figura 20. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do outono na região Agreste do Estado de Sergipe no período de abril a junho de 2013



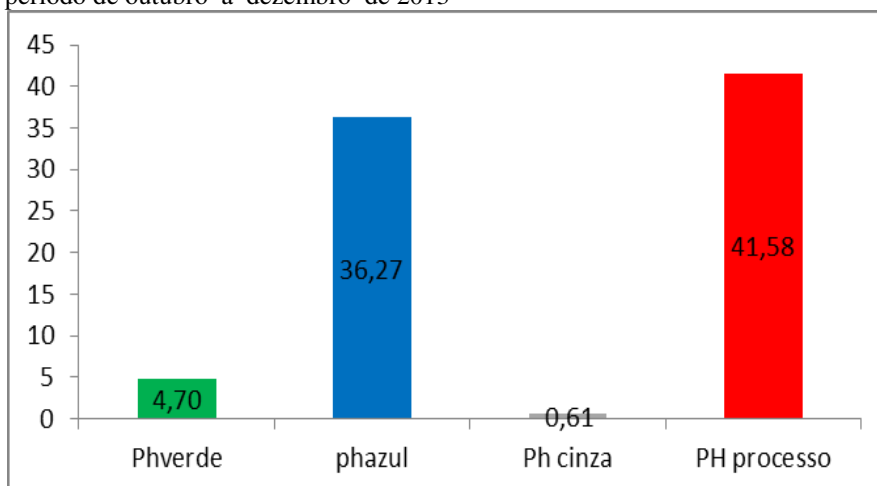
Representando a estação de inverno a Figura 21 mostra a PH verde com valor expressivo em função de uma maior concentração de chuva na região em 2013. Analisando as figuras do ano de 2012 e 2013 na estação do inverno percebe-se que é constante o aumento da PH verde (água da chuva) por se tratar de um período com índices pluviométricos abundantes.

Figura 21. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do inverno na região Agreste do Estado de Sergipe no período de julho a setembro de 2013



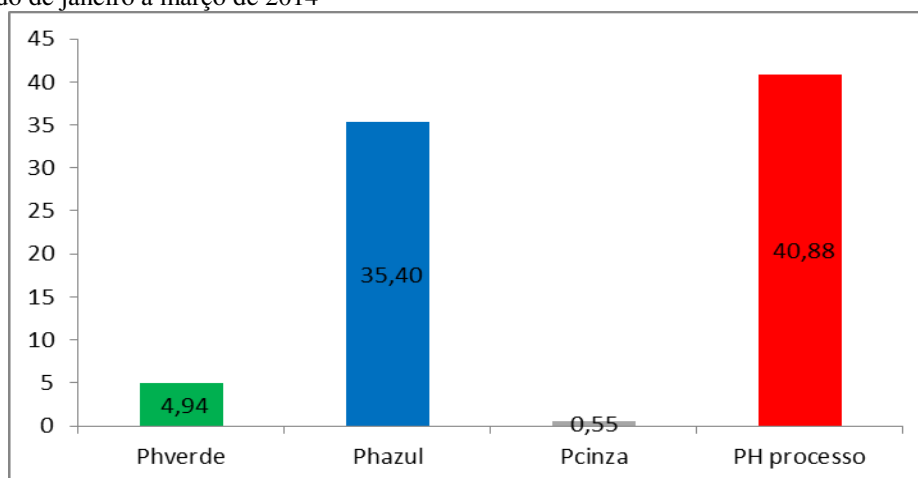
Analisando a Figura 22, pode-se constatar que os valores da PH verde, azul e cinza foram de 4,70; 36,27 e 0,61 m³ ton⁻¹ respectivamente. Para os resultados apresentados constatou-se uma menor produtividade de água verde em relação à água azul. Ribeiro (2014) em seu estudo de caso com a cultura da manga irrigada na região do submédio do Vale do São Francisco encontrou para a PH azul a maior contribuição na PH total, 74 % do valor total que corresponde 265,70 m³ ton⁻¹.

Figura 22. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação da primavera na região Agreste do Estado de Sergipe no período de outubro a dezembro de 2013



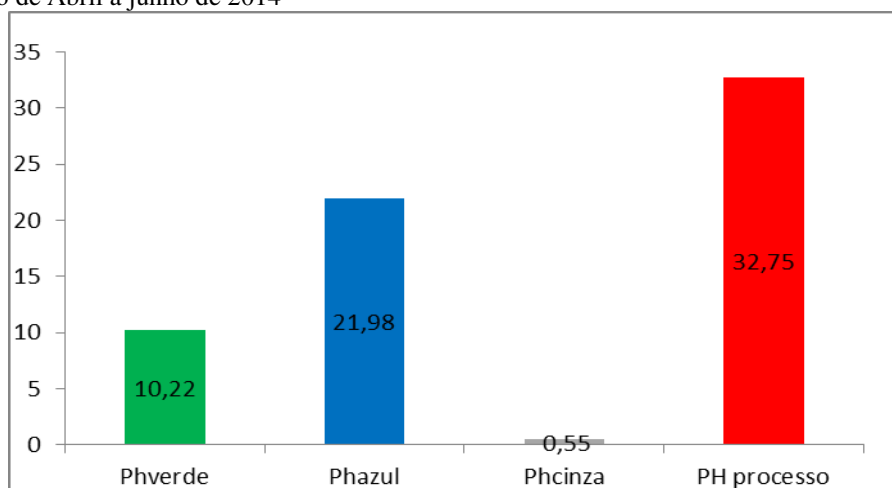
A figura 23 representa as pegadas hídricas durante a estação de verão do ano de 2014, na qual pode-se observar, aumento significativo da PH azul de 35,40 m³ ton⁻¹ devido a diminuição da precipitação pluviométrica na região Agreste. A PH do processo da cultura da pimenta apresentou um alto valor de 40,88 m³ ton⁻¹.

Figura 23. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do verão na região Agreste do Estado de Sergipe no período de janeiro a março de 2014



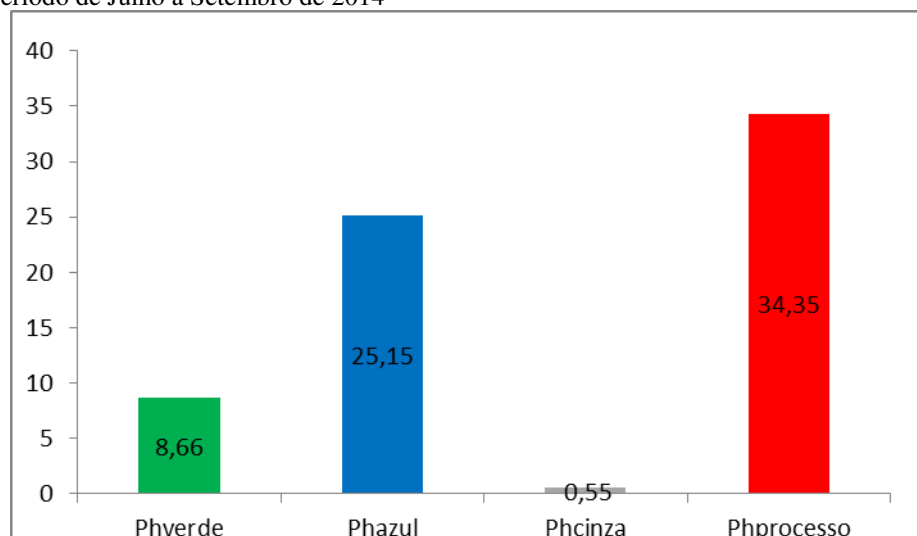
Com base na Figura 24, que reflete a estação do outono os valores para as PH verde, azul e cinza foram aproximadamente de 10,22 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), 21,98 ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ) e 0,55( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ) respectivamente, enquanto que a PH do processo foi de 32,75, ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ).

Figura 24. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do outono na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Abril a junho de 2014



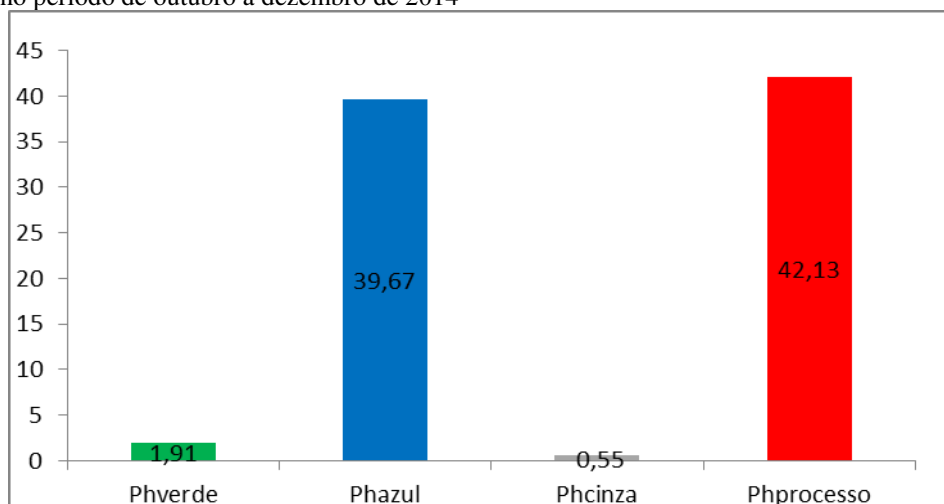
Pode-se observar na Figura 25 que PH verde apresentou um valor bastante expressivo de 8,66, ( $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$ ), devido ao bom comportamento do período chuvoso, o mesmo aconteceu na estação de inverno de 2012. Mesmo sendo observado um aumento da precipitação pluviométrica, a PH azul continua sendo superior a PH verde, significando que para atender a demanda hídrica da cultura da pimenta, foi necessária fazer o uso da irrigação.

Figura 25. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação do inverno na região Agreste do Estado de Sergipe no período de Julho a Setembro de 2014



De acordo com os dados da Figura 26 constatou-se valores das PH verde, azul e cinza de aproximadamente de 1,91; 39,67; e 0,55m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup> respectivamente. Para os resultados apresentados observou-se uma menor produtividade de água verde em relação à água azul. Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos realizados por Bomfim (2017) estudando a cultura do coentro no Agreste Sergipano.

Figura 26. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta na estação da primavera na região Agreste do Estado de Sergipe no período de outubro a dezembro de 2014



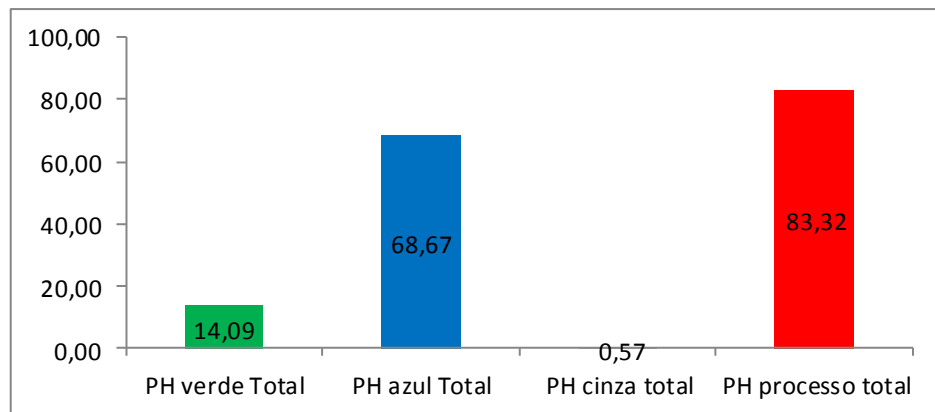
#### 4.3 Comparação das Pegadas Hídricas Total para os anos de 2012, 2013 e 2014

A Figura 27 mostra o resultado total das PH verde, azul, cinza e a do processo para a cultura da pimenta malagueta. Comparando cada PH, pode se constatar que a PH verde, PH azul, PH cinza e a PH do processo no ano de 2012, representado através da figura 27a apresentou os menores valores, quando comparado com os anos de 2013 e 2014. Provavelmente, isto aconteceu em função da má distribuição e baixa precipitação registrada na área estudada e a produtividade do ano de 2012..

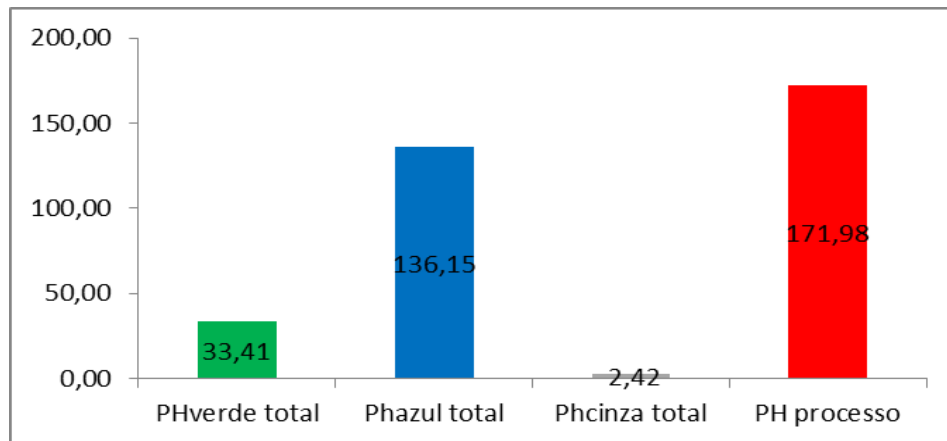
Em síntese, foi possível observar que em todo o período de estudo relacionados aos anos de 2012, 2013 e 2014 a PH azul é a que possui a maior contribuição na média da pegada hídrica do processo, seguidas pelas PH verde e a cinza . A PH azul ao se referir o uso do homem no cultivo agrícola a partir do sistema de irrigação traz consequências para as fontes de água doce, pois existem limites para usar esse fluxo hídrico. De acordo com Hoekstra et al (2011) esse fluxo de escoamento tem um limite de retirada.

Comparando este estudo com o dos autores Mekonnen e Hoekstra (2010) que estimaram a média da pegada hídrica global de vários produtos e seus derivados, dentre eles das sementes de coentro, para o período de 1996 a 2005. O valor encontrado para a média da pegada hídrica global das sementes de coentro foi de  $8.280 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , sendo  $5.369 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  a pegada hídrica verde,  $1.865 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  a pegada azul e  $1.046 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  a pegada cinza. Pode-se comparar que assim como no presente estudo, a pegada hídrica cinza foi a que apresentou a menor participação no valor da média. No entanto, quanto às pegadas hídricas azul e verde as participações destes componentes diferiram deste estudo, com a pegada azul apresentando maior contribuição, seguida da pegada verde. Tal diferença na participação dos componentes se deve às condições edafoclimáticas da região em estudo e ao uso de produtividade de sementes da cultura da pimenta.

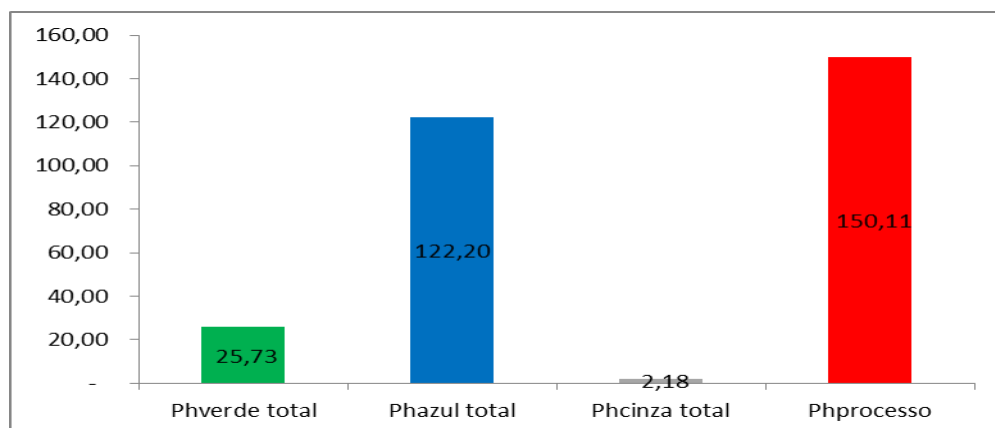
Figura 27. Pegada hídrica total da cultura da pimenta malagueta em ( $\text{m}^3 \text{ ton}^{-1}$ ) na região Agreste do Estado de Sergipe para os anos (a) 2012; (b) 2013 e (c) 2014



(a)



(b)



(c)

Em suma as relações fazem ver porque em 2012 a produtividade da pimenta malagueta estava em alta, pois quanto maior a produtividade da cultura menor é a sua PH.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para GIACOMIN e OHNUMA JR (2012) a pegada hídrica é uma metodologia que permite contornar os efeitos da escassez de água que hoje já priva milhões de pessoas em várias partes do mundo ao acesso a esse recurso essencial para suas vidas.

Dessa forma os resultados deste trabalho sobre a pegada hídrica e o desempenho da cultura da pimenta no Agreste Sergipano permitem concluir o seguinte:

1. A pegada hídrica azul está diretamente relacionada ao aumento da produtividade da cultura da pimenta; já os valores das pegadas hídrica verde e cinza são inversamente proporcionais aos valores de produtividade;

1. A pegada hídrica do processo na cultura da pimenta no agreste sergipano, nas estações primavera-verão foram superiores comparativamente com o período outono-inverno.

2. A pegada hídrica cinza do processo apresenta menor contribuição, tendo em vista, o fato da aplicação do fertilizante mais crítico ser a taxa moderada.

3. A Pegada Hídrica verde apresenta maior contribuição apenas no período de inverno, uma vez que o período chuvoso da região agreste concentra-se dentro desta estação, mais mesmo tendo essa maior contribuição ela não ultrapassa a PH azul.

Sendo assim, este indicador abre a possibilidade para uma gestão mais adequada dos recursos hídricos, evitando a exploração nos locais onde ela é mais escassa e direcionando o consumo para as regiões do planeta onde ela é mais abundante.

## **REFERÊNCIAS E FONTES BIBLIOGRÁFICAS**

ANA. Agência Nacional de Águas. Elaboração do Atlas de Obras Prioritárias para a Região Semiárida: Diagnóstico do Panorama Atual da Oferta de Água. Consórcio Engercops / Projetec / Geoambiente / Riverside. **Superintendência de Planejamento de Recurso Hídricos**. Brasília, 2005<sup>a</sup>. 114p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 1998.

ARRIBAS, R.V. del M; RODRIGUEZ; M.O.B. **Huella Hídrica de América Latina: retos y oportunidades**. Aqua-LAC. V.4. n.1 .p. 4-8, 2012.

AZEVEDO, P. V. de; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. da S. et al. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28. n. 7, p. 863-870, 1993.

BARRETO, N. B.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, L. E. **Irrigação e Drenagem na empresa agrícola - impacto ambiental versus sustentabilidade**. Aracaju: Embrapa. 2004. 418p.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO. 1981. 95p. (Boletim Técnico, 7).

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antônio Alves e MANTOVANI, Charluni Everaldo; **Manual de Irrigação**. 8 .ed. Ed. UFV, Viçosa, 2006.

BERNARDO, Salassier. **Produção Agrícola e uso da água**. In: GOMES, M.A.F; PESSOA, M.C.P.Y. Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas: manejos de recursos hídricos, ferramentas computacionais e educação ambiental. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

BEZERRA; M. do C. L; VEIGA, J. E. da.(Coord.). **Agricultura Sustentável** . Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio Museu Emílio Goeldi, 2000. 8-10. mai. 1984.

BONTEMPO, M. **Pimenta e seus benefícios**. São Paulo. Alaúde, 2007.

BOMFIM, M F. **Pegada Hídrica e desempenho econômico da cultura do coentro (*coriandrum sativum* L.) no agreste sergipano**, Brasil. 2017. 80f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio ambiente), Universidade Federal Sergipe 2017.

BRASIL,“**Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** ”Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011.** dispõe sobre condições,parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br) Acesso em 23 mai de 2017.

CARVALHO, E.S.M. **Um olhar geográfico sobre as águas no Vaza Barris Sergipano**. São Cristovão: Editora UFS, 2014.

CARVALHO, A. C. de L; SANTANA, J. L. **Direito ambiental brasileiro em perspectiva: Aspectos legais, críticas e atuação prática**. Curitiba: ed. Juruá, 2009. 528p.

CASALI, V. W. D.; COUTO, F. A. A. Origem e botânica de *Capsicum*. In: Informe Agropecuário. **Pimentão e pimenta**. Belo Horizonte. Ano 10, nº 113. p.

COHIDRO. Companhia de desenvolvimento e de recurso hídricos e irrigação de Sergipe. **Dados meteorológicos dos perímetros irrigado do município de Lagarto-SE**, 2010.

COHIDRO. Companhia de desenvolvimento e de recurso hídricos e irrigação de Sergipe. 2013. **Disponível em** <http://www.cohidro.se.gov.br/modules/tinyd0/index.php?id=23>. Acessado em 25 de janeiro de 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI), **Água, indústria e sustentabilidade**. Brasília, 2013, 224p.

CHARKE, Robin T. **O atlas da água**. São Paulo, 2005.

CHAPAGAIN, A.K.;HOEKSTRA, A.Y. **Water footprints of nations**. Países baixos: UNESCO-IHE, 2004. (Value of water research report series,n.16). Disponível em < <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16voll.pdf>>. Acesso em : 10 set. 2016.

CHAPAGAIN, A; TICKNER, D. Pegada Hídrica: evolução do conceito e sua utilidade na prática.In: EMPINOTI, V; JACOBI, P.R.(Org.).**Pegada Hídrica : inovação , corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The Water Footprint of Coffee and Tea Consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, n. 64, p. 109-118, 2007.

CHAPAGAIN, k. A. TICKNER, D. Pegada hídrica: **Evolução do conceito e sua utilidade na prática**.In: EMPINOTTI, V. JACOBI. P.R. (orgs). Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação. São Paulo: Annablume, PROCAMP-USP, IEE-USP,2012.

CLARK,; ALBREGTS, E. E.; STANLEY, C. D. et al. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 3, p. 905-912, 1996.

DIAS, Genebaldo Freire. **Educação Ambiental: princípios e práticas**. 9.ed. São Paulo : Gaia, 2004.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. 2.ed. Rome: **FAO**, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24)

DUTRA, F. L.A; BRANCO I.G;MADRONA G.S.; HAMINIUK C. W.I. **Avaliação Sensorial e Influência do Tratamento Térmico no Teor de Ácido Ascórbico de Sorvete de Pimenta**. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial.v. 04, n. 02: p. 243-251, 2010.

EMPINOTTI, Vanessa; JACOBI, Pedro Robert. (orgs.). **Pegada Hídrica: Inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. Annablume, PROCAM-USP, IEE-USP, São Paulo, 2012.

EMBRAPA- Disponível em: <[www.cnph.embrapa.br/capsicum/cmalaqueta.htm](http://www.cnph.embrapa.br/capsicum/cmalaqueta.htm)>. Acesso em :21/12/2017.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **CROPWAT 8.0 model, Food and Agriculture Organization**. Roma, Itália, 2010. Disponível em: [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html). Acesso em dezembro de 2017.

FILGUEIRA, Fernando Antônio Reis . **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de Hortaliças**. 3.ed. Viçosa, MG : Editora UFV , 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3ª ed. Viçosa:UFV, 2010. 421p.  
FIGUEIREDO, Adama H. de (Org.). **Brasil: Uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI**. Rio de Janeiro : IBGE, Coordenação de Geografia , 2016.

FILHO, M.A.C et al;. Relação solo-planta-atmosfera.IN:SOUZA, Valdemício Ferreira de et al. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Empraba Informação Tecnológica, Brasília, DF, 2011.

FONTES, A. L; SANTOS, A. F. **Diagnóstico ambiental preliminar na sub bacia do rio Piautinga-SE**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Núcleo de Pós Graduação em Geografia (NPGeo), Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte, 2007.

FRANÇA, V. L. A ; CRUZ, M. T. S. **Atlas escolar Sergipe: espaço geo-histórico e cultura**. João Pessoa, PB: Editora Graftset, 2007.

FRAIFE FILHO, G.A. **Pimenta**. Disponível em:<http://www.ceplac.gov.br/radar/pimenta.htm>  
Acesso em: 05/08/2017.

GAIOTTO, M.C.; PINTO, C. M. F.; PINTO, C. L. O. **Conservação de pimentas (capsicum sp.) em diferentes formulações e qualidade microbiológica durante o armazenamento**. EMBRAPA/EPAMIG- Viçosa, MG, 1999.

GIACOMIN, G.S; OHNUMA JR, A.A. A pegada hídrica como instrumento de conscientização ambiental.v.7, n.9, mar-jun, 2012. p. 1571-1526.

GUIMARÃES , R. M. A.M. **Estado e política ambiental em Sergipe**. São Cristóvão: Editora UFS, Fundação Oviêdo Teixeira, 2010.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. The Water Footprints of Morocco and the Netherlands: Global Water Use as a Result of Domestic Consumption of Agricultural Commodities. **Ecological Economics**, n. 64, p. 143-151, 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M.; MEKONNEN, M. M. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global**. Water Footprint Network, 2011. 191p.

HOEKSTRA, A.Y. AND HUNG, P.Q. **Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade**, *Global Environmental Change*,15(1): 45-56, 2005.

HOEKSTRA, Arjen Y. et al. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: estabelecendo o padrão global**. Earthscan. 2011.

LIMA, G.M. de. Sergipe. In: XAVIER, Y.M.D.A e BEZZERA,F.N. (Org.) **Gestão Legal dos recursos hídricos dos Estados do Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer,2005.

MANARA, A. S.; LINS, A. F.; HECK, R.M.; BARBIERI, R. L.**Uso Terapêutico da Pimenta Malagueta (*capsicum frutescens*) na Periferia de Bagé, RS**. Programa de Pós Graduação em Enfermagem e Obstetrícia – FEO/UFPel Embrapa Clima Temperado (Pelotas-RS).Jun/Jul 2009.

MARACAJÁ, K. F. B.; SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; NETO, J. D.; ARAÚJO, L. E. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 100-105, 2013.

MARTINS, R.C; FELIDADE, N. Limitações de abordagem neoclássica como suporte teórico para a gestão de recursos hídricos no Brasil. IN: FELICIDADE, N; MARTINS.R.C; LEME.A.A. **Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil: Velhos e novos desafios para a cidadania**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2006.

MARTINS, A.P; PAULINO, H.B; FILHO, R.R.G. Legislação de Recursos hídricos. IN: FILHO, R.R.G.(Org.).**Gestão de Recursos Hídricos : Conceitos e experiências em Bacias Hidrográficas**. 1ed. Goiânia: Gráfica e Editora América, 2003.

MWKONNEN, M. M.; HOESKSTRA, A.Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**, *Hydrology and Earth System Sciences*, v.15, n.5, 2011. MEKONNEN, M.M., PAHLOW, M., ALDAYA, M.M., ZARATE, E., HOEKSTRA, A.Y., 2015. “Sustainability, Efficiency and Equitability of Water Consumption and Pollution in Latin America and the Caribbean”. **Sustainability**, v. 7, p. 2086-2112. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/2/2086/html>.

MEKONNEN,M.M; HOEKSTRA, A.Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products**. Value of Water Ressearch Report Series No.47. Delf, The Netherlands: UNESCO-IHE, v. 1. 2010

MILLER JR, G.T. **Ciência Ambiental**. Tradução All Tasks. Revisão Técnica Wellington Braz Carvalho. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

MÜLLER, G. T. **Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a Avaliação do Uso da Água na Cadeia Produtiva do Biodiesel de Soja**. 2012. 188 f.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. Jr. Requerimento de Água para Irrigação do Milho em Santa Catarina durante Eventos La Niña. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1330-1337, 2012.

OLIVEIRA, A. B. et alli. **Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília:Embrapa, 2000.113p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU), 2015, Agenda 2030. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. 1 ed. Piracicaba: FEALQ, 183 p. 1997.

PETRELLA, Ricardo. **O manifesto da água**. Petrópolis: Vozes, 2002.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD), 2000, Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/odm.aspx>.

REBOUÇAS, A. Água Subterrânea: fonte mal-explorada no conhecimento e na sua utilização. **A Água em Revista**. CPRM: Belo Horizonte (MG), v. 5, n. 8, 1997.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**.3ª Ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

REIFSCHNEIDER, F.J.B.**Capsicum- pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia/ Embrapa Hortaliças, 2000. 113 p.

RIBEIRO, C.S. **Pegada Hídrica e Água Virtual: Estudo de caso da manga no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil.2014**. 79f. Dissertação (Mestrado em Economia)-Faculdade de Economia, Universidade Federal da Bahia, 2014.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; BÔAS, M. A. V.; OLIVEIRA, L. F. C. Estudo da Precipitação Efetiva para o Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SANTOS J.A.B.; SILVA G.F.; OLIVEIRA L. C. **Avaliação dos Capsaicinóides em Pimentas Malagueta**. Revista Eletrônica da FJAV. Ano I, nº 2, ISSN 1983-1285, 2008.

SANTOS, *et alli*. Evapotranspiração de referência e coeficiente de cultivo da pimenteira no agreste alagoano. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 10, nº 5, p. 833 – 892, 2016.

SEIXAS, V. S. **Análise da Pegada Hídrica de um conjunto de produtos agrícolas**. Lisboa, 2011.



SECRETARIA DE ESTADO DA COMUNICAÇÃO SOCIAL DE SERGIPE, 2014. disponível em: <http://www.agencia.se.gov.br/noticias/irrigacao/perimetros-irrigado-tem-colheita-recorde-de-115-mil-toneladas-Acessado> em 20 de outubro de 2016.

SERGIPE (ESTADO). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos PROÁGUA Nacional. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe**. Relatório Final (RF-i) Vol. 1. Aracaju, 2011.

SERGIPE, Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia – Superintendência de Recursos Hídricos. Sergipe: Atlas digital sobre recursos hídricos. CD ROOM, 2016.

SILVA, V. de P.R. da et al. **Medições e modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 19, n.6, 2015.

SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; DANTAS NETO, J.; MARACAJÁ, K. F. B.; ARAÚJO, L. E. **Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.1, p.100–105. 2013.

SILVA, Dianderson et al. Caracterização macroscópica do estado de impacto ambiental de nascentes do rio betume. IN: AGUIAR NETO, A. SANTANA. N. R. (org). **Contexto socioambiental das águas do Rio São Francisco**. São Cristovão: UFS, 2015.

SILVA, V.P.R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 126 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2000.

SOUZA, C. W.VIEIRA, C. B. **Pegada hídrica como indicador: Concepções e críticas metodológicas**. IN: EMPINOTTI, V. JACOBI. P.R. (orgs). Pegada hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação. São Paulo: Annablume, PROCAMP-USP, IEE-USP, 2012.

TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, M. Cristina Motta de; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra**. 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2ª ed. São Paulo: Rima, 2005.

TUCCI, C.E.M; HESPANHOL, I e NETTO, O. de M.C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília : UNESCO, 2001-2003.

THOEH, Frederich. R; THOMPSON, Louis M. **Solos e Fertilidade do Solo**. 6 ed. Tradução Durval Dourado Neto ; Manuella Nóbrega Dourado. São Paulo: Andrei Editora LTDA, 2007.

XAVIER, M. de A; BEZERRA, N.F. (Org.). **Gestão Legal dos Recursos Hídricos dos Estados do Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2005. 187p.